

MÉMOIRES  
DE LA  
SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE  
DU NORD

---

STRUCTURE MICROSCOPIQUE  
DES CHARBONS DU BASSIN HOUILLER  
DU NORD ET DU PAS-DE-CALAIS

par  
ANDRÉ DUPARQUE

Docteur es-Sciences

Maître de Conférences de Pétrographie à la Faculté des Sciences de l'Université de Lille

---

TOME XI

---

1<sup>o</sup>) TEXTE

---

LILLE  
IMPRIMERIE CENTRALE DU NORD  
12, Rue Lepelletier, 12

1933





**STRUCTURE MICROSCOPIQUE  
DES CHARBONS DU BASSIN HOUILLER  
DU NORD ET DU PAS-DE-CALAIS**

---

**1°) TEXTE**

---



MÉMOIRES  
DE LA  
SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE  
DU NORD

---

STRUCTURE MICROSCOPIQUE  
DES CHARBONS DU BASSIN HOULLER  
DU NORD ET DU PAS-DE-CALAIS

par

ANDRÉ DUPARQUE

Docteur ès-Sciences

Maître de Conférences de Pétrographie à la Faculté des Sciences de l'Université de Lille

---

TOME XI

---

1<sup>o</sup>) TEXTE

---

**SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DU NORD**

LILLE  
IMPRIMERIE CENTRALE DU NORD  
12, Rue Lepelletier, 12  
—  
1933



A LA MÉMOIRE DE

Eugène F. DUPARQUE

MON PÈRE

A

Monsieur Charles BARROIS

Membre de l'Institut

Professeur honoraire à la Faculté des Sciences de Lille

MON MAÎTRE

*André DUPARQUE*



## AVANT-PROPOS

J'ai suivi dans l'élaboration de ce mémoire le précepte de Buffon : « *Cherchons des faits pour nous donner des idées* ». J'en ai réuni un très grand nombre avec la constante préoccupation de leur laisser exclusivement la parole. Si je me suis parfois aventuré au-delà de leurs conséquences immédiates, il sera toujours facile à ceux qui trouveront mon induction trop hardie d'extraire de mon travail les faits escortés par les idées qui s'y rattachent et de les interpréter à leur convenance.

LUCIEN CAYEUX, *Mém. Soc. Géol. du Nord*, T. IV, fasc. 2, p. 10.

Avant d'exposer les recherches qui font l'objet de ce mémoire, je tiens tout d'abord à en consacrer les premières lignes aux Maîtres qui par leurs conseils, leurs concours ou leurs enseignements m'ont permis de les entreprendre ou m'ont aidé à y persévérer pendant de longues années d'études.

C'est au Musée houiller et au Laboratoire de Géologie de l'Université de Lille que ces études ont été entreprises et poursuivies. J'y ai trouvé des conditions exceptionnellement favorables à mes recherches au milieu des collections spéciales qui ont été réunies par Jules Gosselet et C. Eg. Bertrand. Grâce aux services désintéressés rendus depuis de nombreuses années au Bassin houiller tout entier par les Professeurs de Géologie de l'Université de Lille, j'ai rencontré dès mes débuts le concours le plus libéral, le plus éclairé et le plus entier auprès de toutes les Compagnies houillères du Nord et du Pas-de-Calais. Que MM. les Professeurs Ch. Barrois, P. Bertrand et P. Pruvost à qui je suis redevable de tous ces avantages veuillent bien agréer l'expression de toute ma gratitude.

Le sujet de ce travail m'a été proposé en 1923 par M. Charles Barrois, Membre de l'Institut, alors Professeur de Géologie à la Faculté des Sciences de Lille, à qui je suis heureux d'exprimer toute ma reconnaissance.

En me faisant le grand honneur de m'accepter successivement comme aide préparateur de Minéralogie, préparateur du Musée houiller, puis préparateur de Géologie, il m'a permis d'entreprendre de longues et patientes recherches qui comportaient comme problème préliminaire la mise au point de nouvelles méthodes d'investigation et de collaborer, pour une modeste part, à l'œuvre qu'il avait entreprise en créant le Musée houiller de l'Université de Lille. Pendant tout le cours de mes travaux, il n'a cessé de s'intéresser à mes recherches en m'apportant de précieux conseils et l'appui du prestige de sa haute autorité scientifique. Pour toutes ces marques d'estime et d'affectueuse bienveillance, je le prie de vouloir bien accepter la dédicace de cet ouvrage.

C'est à M. Paul Bertrand, Professeur de Paléobotanique à la Faculté des Sciences de Lille, que je dois les connaissances des plantes fossiles qui m'ont été si utiles dans ce mémoire où la Paléontologie végétale tient une si large place. L'accueil aimable que j'ai toujours reçu dans son laboratoire et la complaisance avec laquelle il a mis généreusement à ma disposition sa bibliothèque personnelle ont beaucoup facilité mes recherches. Je suis très heureux de l'assurer ici de mon affectueuse reconnaissance.

M. Pierre Pruvost, Professeur de Géologie à la Faculté des Sciences de Lille, qui fut mon Maître en Paléontologie, a toujours été pour moi un guide éclairé dont j'ai mis souvent à contribution les connaissances approfondies de tout ce qui touche au terrain houiller du Nord de la France et des régions voisines. Pour l'intérêt qu'il ne cesse de porter à mes travaux et la sollicitude dont il m'a donné de nombreuses preuves, il m'est très agréable de lui adresser mes bien vifs remerciements.

Tout au début de mes recherches, M. Alfred Lacroix, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, Professeur de Minéralogie au Muséum National d'Histoire naturelle, m'a fait le grand honneur d'encourager mes efforts. Depuis, en maintes circonstances, il n'a cessé de me manifester tout l'intérêt qu'il voulait bien porter à mes travaux, intérêt qui m'a puissamment aidé à persévérer dans la voie que je m'étais tracée. Je suis très heureux de pouvoir lui exprimer ma respectueuse reconnaissance.



A différentes reprises, M. Lucien Cayeux, Membre de l'Institut, Professeur de Minéralogie au Collège de France, a bien voulu apporter à mes travaux une approbation d'autant plus chère à mes yeux que l'étude microscopique des houilles appartient à cette branche des sciences géologiques dont il est le fondateur et entre dans le domaine de la micrographie des roches sédimentaires auquel il a lui-même consacré son activité scientifique. A vrai dire, je lui dois beaucoup plus que ces encouragements personnels, car c'est en m'inspirant de ses belles recherches et en utilisant ses méthodes de travail que j'ai entrepris l'étude des houilles du Nord de la France. Qu'il me permette de lui adresser l'expression de ma profonde et bien vive gratitude.

C'est dans les laboratoires de M. Léon Guillet, Membre de l'Institut, Directeur de l'École centrale des Arts et Manufactures, que j'ai pu me familiariser avec les méthodes d'examen en lumière réfléchie des métaux et des alliages que je désirais étendre à l'étude des charbons. Qu'il veuille bien trouver ici, ainsi que son collaborateur M. Galibourg, tous mes remerciements pour l'aide précieuse qu'ils m'ont apportée tout au début de mes recherches.

A la suite de ces Maîtres, je tiens à citer les noms de ceux à qui je suis redevable de ma formation de naturaliste.

M. A. Malaquin, Professeur de Zoologie à la Faculté des Sciences de Lille, m'a fait l'honneur de m'accueillir dans son laboratoire. Le séjour de trois années que j'y ai fait, soit comme élève, soit comme préparateur, m'a laissé d'autres traces que des connaissances de Zoologie ou d'Histologie, car j'y ai acquis le goût et la technique de l'observation microscopique. Il m'est particulièrement agréable de voir en lui un de mes initiateurs et de l'en remercier.

C'est à M. le Doyen Maige, Professeur de Botanique, que je dois ma formation dans cette science qui m'a été si nécessaire dans des recherches où la paléobotanique joue un rôle prépondérant ; il n'a cessé de me manifester une sympathie pour laquelle j'ai le vif plaisir de lui exprimer toute ma gratitude.

A mon ami Georges Dubois, Professeur de Géologie à la Faculté des Sciences de Strasbourg, en souvenir des recherches que nous avons poursuivies en collaboration et de l'aide qu'il a bien voulu m'apporter lors de la publication de

x

mes premières notes sur les charbons, je tiens à adresser mes affectueux remerciements.

Les matériaux d'étude que met en œuvre ce mémoire n'auraient jamais pu être rassemblés sans le concours éclairé des Ingénieurs et des hommes d'action éminents qui assurent l'exploitation du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. C'est avant tout à leur accueil bienveillant et à leur aide précieuse que ce travail doit d'avoir vu le jour. Je sens vivement tout ce que son exécution doit à la collaboration du Comité des Houillères de France, de la Chambre des Houillères du Nord et du Pas-de-Calais, des Compagnies houillères et de tant de mes Confrères de l'Industrie minérale. Je prie MM. les Présidents de ces Sociétés, M. de Peyerimhoff, Président du Comité des Houillères, Cuvelette, Président de la Chambre des Houillères, Champy, Président du District du Nord de l'Industrie Minérale, Ganière et Georges, Ingénieurs en Chef au Corps des Mines et leurs Adjoints, ainsi que MM. les Directeurs et Ingénieurs des Compagnies houillères, d'agrèer ici l'expression de ma bien vive gratitude.

A la suite de la publication de mes notes préliminaires, j'ai reçu bien des marques de sympathie qui m'ont aidé à persévérer dans la voie que je m'étais tracée. M. Paul Lemoine, Directeur du Muséum d'histoire naturelle, M. Léon Bertrand, Professeur de Géologie appliquée à la Sorbonne, MM. Carpentier, Delépine, Depape et Dubar, Professeurs à la Faculté libre des Sciences de Lille, M. P. Fallot, Professeur de Géologie à l'Université de Nancy, M. G. Friedel, Correspondant de l'Institut, Ingénieur en Chef des Mines, Professeur de Minéralogie à l'Université de Strasbourg, M. M. Gignoux, Correspondant de l'Institut, Professeur de Géologie à l'Université de Grenoble, M. J. de Lapparent, Professeur de Pétrographie à l'Université de Strasbourg, M. Leriche, Correspondant de l'Institut, Professeur aux Universités de Bruxelles et de Lille, M. Paul Lecomte, Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, M. Mengaud, Professeur de Géologie à l'Université de Toulouse, M. J. Orcel, Sous-Directeur du Laboratoire de Minéralogie au Muséum d'histoire naturelle, M. X. Stainier, Professeur de Géologie à l'Université de Gand, m'ont fait l'honneur de s'intéresser à mes travaux et de me faciliter certaines recherches. Je suis heureux de leur exprimer ici toute ma reconnaissance.

Au cours de mes recherches, j'ai eu l'occasion de collaborer avec de jeunes chercheurs qui sont venus travailler au Laboratoire de Géologie et au Musée houiller de Lille. M<sup>lle</sup> Jeanne Leveugle, M<sup>me</sup> Simone Defretin Lefranc et M. J. W. Laverdière ont étudié avec moi des houilles belges et françaises, M. J. Fanshawe des houilles et des anthracites américains, M<sup>lle</sup> Sacha Popesco des lignites roumains. Pour leur dévouement, pour l'aide qu'ils m'ont apportée et pour les observations nouvelles qu'ils m'ont permis de faire en étendant le domaine de mes investigations, il m'est agréable de leur présenter mes remerciements.

M. R. Marlière, Chargé de Cours à l'École des Mines du Hainaut a publié un résumé de mes travaux antérieurs, ce dont je le remercie bien vivement.

Au cours de mes recherches, j'ai contracté d'autres dettes de reconnaissance dont je tiens à m'acquitter ici.

De généreuses contributions matérielles ont rendu possible l'impression de ce mémoire. En particulier, c'est grâce à une importante subvention de la Chambre des Houillères du Nord et du Pas-de-Calais que ce travail doit d'avoir pu être publié avec l'abondante figuration qui en constitue le principal intérêt scientifique. Je suis très heureux d'adresser à tous les Membres de ce Conseil l'expression de ma bien vive gratitude.

Au Ministère de l'Instruction publique, la Caisse des recherches scientifiques m'a fait l'honneur de m'accorder à deux reprises des subventions destinées, soit à poursuivre mes travaux, soit à m'aider à publier ce mémoire. Pour cette aide matérielle et morale qu'elle m'a ainsi apportée, je tiens à lui adresser mes remerciements.

Une partie importante du travail matériel, consistant dans l'exécution par mes soins de bonnes microphotographies capables d'être utilisées dans les reproductions phototypiques, m'a été facilitée par l'acquisition d'un grand banc métallo-graphique de Reichert, grâce à une subvention particulière obtenue sur les fonds de la Journée Pasteur.

La Société géologique du Nord m'a apporté un généreux concours en publiant dans ses « Annales » la plupart de mes notes et mémoires préliminaires et m'a

donné une nouvelle marque d'estime en acceptant d'imprimer le présent travail dans la série de ses « Mémoires ».

Depuis la rédaction de ce travail, il a été créé à la Faculté des Sciences de Lille, sur l'initiative de M. le Recteur Chatelet et de M. le Doyen Maige, grâce au généreux concours du Conseil général du Nord, de la Chambre des Houillères du Nord et du Pas-de-Calais, de l'Office des combustibles liquides et de l'Université de Lille, un Institut de la Houille comprenant à côté des Services du Musée houiller de Lille organisés en 1907 par M. Charles Barrois <sup>(1)</sup>, un Laboratoire de Chimie de la houille et un Laboratoire de Pétrographie des roches combustibles. J'espère trouver dans ce dernier laboratoire qui m'a été confié de nouveaux moyens de travail et de progrès. Je tiens à exprimer à tous ceux qui ont contribué à la création de ce laboratoire l'expression de ma reconnaissance.

---

(1) C'est sur l'initiative de M. Charles Barrois que le Musée houiller de Lille a été créé en 1907 par la Municipalité lilloise et l'Université de Lille, sous les auspices des Conseils généraux du Nord et du Pas-de-Calais et de la Chambre des Houillères de ces deux départements. Consulter à ce sujet Ch. BARROIS [13].

*Les numéros d'ordre imprimés dans le texte en caractères gras et entre crochets renvoient à la Liste bibliographique placée à la fin du deuxième volume de ce mémoire.*

# INTRODUCTION

---

## HISTORIQUE

### LES RECHERCHES SUR LA STRUCTURE MICROSCOPIQUE DES CHARBONS

---

Cette introduction comprendra deux chapitres où je rappellerai respectivement l'état de nos connaissances concernant les roches combustibles antérieurement aux présentes recherches (1923) et les connaissances acquises récemment dans le domaine plus spécial des houilles paléozoïques.

Cette division et le choix de cette date se justifient par les considérations suivantes :

Antérieurement à 1923 très peu de travaux d'ensemble ou de détail traitent seulement de la question de la structure des houilles paléozoïques, la plupart n'abordant cette question qu'incidemment à la suite d'études de combustibles spéciaux (Cannel-Coals et Bogheads) ou plus récents (Lignites, Tourbes). Pendant cette période l'étude des houilles se trouve donc intimement liée à celle des autres types de charbons, de sorte qu'il est quasi-impossible de ne pas faire état de travaux consacrés plus spécialement aux lignites et aux tourbes. Dans le chapitre premier j'analyserai à côté d'ouvrages traitant presque exclusivement des houilles primaires de nombreux mémoires où l'étude des combustibles est envisagée d'une façon beaucoup plus générale et où l'on a souvent tenté d'expliquer ce que l'on ne pouvait voir dans les houilles par ce que l'on observait dans d'autres types de charbons.

Depuis 1923 les ouvrages traitant uniquement des combustibles que l'on désigne communément par le terme de houille sont devenus très nombreux tandis que les progrès réalisés démontraient de plus en plus l'intérêt que présentent les recherches limitées à des combustibles bien distincts des lignites et des tourbes. Au fur et à mesure que se perfectionnent nos connaissances sur les combustibles en général s'affirme très nettement cette notion que toute comparaison entre les trois grands types de charbons minéraux est actuellement prématurée. De récents progrès font que la pétrographie des houilles, si embryonnaire il y a seulement quelques années, est aujourd'hui beaucoup mieux connue que celle des lignites ou celle des tourbes qui n'ont pas encore fait l'objet de recherches systématiques. La comparaison des trois grands

types de combustibles minéraux ne pourra être faite d'une façon scientifique que lorsque les caractères lithologiques des lignites et des tourbes auront été décrits et surtout figurés comme le sont aujourd'hui ceux des houilles paléozoïques. Dans ce domaine les conclusions basées sur des observations peu nombreuses et souvent sporadiques sont toujours hasardeuses et risquent d'être plus nuisibles qu'utiles. Ce n'est qu'à la suite d'observations insuffisantes et en se basant le plus souvent sur des caractères secondaires ou superficiels que l'on a pu affirmer récemment que les houilles, les lignites et les tourbes représentent trois étapes successives de l'évolution de formations identiques. En réalité, si l'on excepte le fait que ces trois variétés de roches combustibles dérivent d'accumulations de débris végétaux, les connaissances actuellement acquises permettent de reconnaître, lorsque l'on se cantonne dans le domaine des faits d'observation, plus de différences que d'analogies entre les trois termes que beaucoup ont considérés comme trois stades d'évolution de formations semblables <sup>(1)</sup>.

Quelle que soit du reste l'opinion que l'on adopte sur ce point il est certain que les recherches sur les houilles forment aujourd'hui un tout assez vaste pour être nettement distingué des travaux concernant les lignites et les tourbes. C'est pour cette raison que dans le chapitre deuxième mon exposé ne comprendra que les travaux traitant de la structure des combustibles du type « *houille* » à l'exclusion de ceux où figurent uniquement des études de lignites et de tourbes.

---

(1) Cette théorie de l'identité primitive des houilles, des lignites et des tourbes est du reste difficilement acceptable au point de vue géologique pur, car il est fort improbable que même en supposant une identité absolue de composition chimique des dépôts initiaux ceux-ci aient pu passer par des stades identiques dans des conditions de dépôts et en particulier sous l'action de climats essentiellement différents.

## CHAPITRE PREMIER

### Connaissances sur la structure microscopique des roches combustibles acquises antérieurement aux présentes recherches.

L'application du microscope à l'étude des charbons remonte actuellement à une centaine d'années, les premiers essais ayant précédé ou suivi de très près l'année 1830. Par une coïncidence curieuse ces essais portèrent presque simultanément sur les deux méthodes d'investigation actuellement en usage : le *procédé d'examen en lumière réfléchie* et le *procédé d'examen par transparence*.

C'est vers 1830 que LINDLEY prépara des *lames spéculaires* de houille et les examina à la loupe et au microscope en s'aidant dans ce dernier cas de la lentille d'éclairage fixée au tube par un bras articulé, lentille qui faisait alors partie de l'équipement normal de tous les instruments de ce genre. Un tel éclairage forcément oblique n'était alors possible qu'avec des objectifs à distance frontale assez grande ne permettant que de faibles grossissements. Cet auteur put néanmoins reconnaître la *nature organisée* de certaines houilles et faire état de ses observations dans un mémoire publié en collaboration avec HUTTON [418] <sup>(1)</sup>.

C'est vers la même époque que WITHAM put observer dans certaines sections de houille de belles structures ligneuses [700] et signala l'analogie entre ces structures et le bois des conifères [701].

A peu près en même temps HUTTON publia séparément de courtes notes sur la structure des charbons où il a observé des réseaux de cellules allongées en partie résorbées dans une masse bitumineuse [329].

En 1836 GOEPPERT utilisa pour la première fois la *méthode des incinérations* et examina au microscope des squelettes cendreux où il reconnut les indices d'une structure organisée des houilles [256 et 257].

En 1837 READE prétendit avoir pu établir que les cendres des végétaux forment une sorte d'ossature comparable au squelette des animaux et reconnut incidemment des structures végétales parmi les cendres des charbons [504 et 505].

En 1838 LINK observa au microscope des sections de houille *éclaircies* par ébullition dans le pétrole rectifié et reconnut la présence de structures végétales, et en particulier de bois, dans différents types de charbons [419].

En 1842 PHILLIPS appliqua à des houilles et à des anthracites la méthode des incinérations

(1) Le principe du dispositif d'éclairage de LINDLEY qui avait été imaginé par HOOKE dès 1665 est tout différent de celui appliqué dans la construction des divers types d'illuminateurs verticaux.

de GOEPPERT et put examiner des squelettes cendreux indiquant des structures végétales [467].

En 1846 SMID et SCHLEIDEN utilisèrent conjointement la méthode de Goeppert (incinérations) quelque peu modifiée et des *procédés de macération* basés sur l'action du carbonate de sodium sur des menus fragments de charbon, méthodes qui leur permirent d'observer des débris végétaux à structure nette [545].

En cette même année (1846) EHRENBERG perfectionna la méthode d'incinération de Goeppert [214] tandis que BAILEY remarquait parmi les cendres d'antracites pensylvaniens des débris de bois reconnaissables et leur appliquait une *méthode de transfert* consistant à recouvrir la surface de houille d'un baume fluide qui en durcissant formait peu à peu une pellicule solide susceptible d'être enlevée en entraînant des débris de tissus adhérant à sa surface [6].

En 1847 TESCHEMACHER put observer des vaisseaux ligneux dans la houille [635] et faire contrôler ses déterminations par AGASSIZ.

En 1849 SCHRÖTTER reconnut la présence dans des lignites de structure ligneuse et expérimenta des *méthodes d'extraction* qui appartiennent à la technique chimique bien plus qu'à la technique pétrographique pure [552 et 553]. Il employa comme solvant l'éther et la potasse et obtint respectivement avec ces deux réactifs une substance résineuse brune (extraction à l'éther) et un liquide brun (action de KOH).

En 1850 DAUBRÉE examina au microscope des lignites tertiaires et y reconnut des cellules ligneuses dont les cavités étaient parfois remplies de résine [143].

En 1852 PLETTNER observa également des structures végétales dans un certain nombre de lignites [470].

Les années comprises entre 1854 et 1857 virent se développer une controverse à propos du charbon de Torbane hill (Écosse), controverse qui aboutit à la publication des travaux de HARKNESS [300], QUEKETT [499], REDFERN [506], BALFOUR [7] et BENNETT [37]. L'opinion qui prévalut fut celle de REDFERN qui admit que les corps jaunes du charbon de Torbane Hill étaient des spores et rapprocha ce combustible des Cannel-Coals. Cette détermination fut complètement infirmée par les beaux travaux de C. EG. BERTRAND et RENAULT qui démontrèrent que les corps jaunes de la Torbanite sont en réalité des algues gélosiques. (*Pila minor ou Pila scotica*).

En 1855 SCHULTZE publia les résultats de ses observations de débris végétaux isolés de la houille par une *méthode de macération*, débris obtenus en soumettant de menus fragments de charbon à l'action du réactif qui porte son nom [554]. La *liqueur de Schultze* est un mélange oxydant d'acide nitrique concentré et de chlorate de potasse, elle est utilisée encore aujourd'hui comme désagrégant (procédé des macérations) et comme réactif d'attaque (méthode des surfaces polies et attaquées de Winter).

Les années 1870 et 1871 virent se développer la controverse célèbre sur le rôle joué par les spores dans la formation des veines de houille, HUXLEY et DAWSON ayant soutenu à ce sujet des opinions presque diamétralement opposées. En 1870 HUXLEY attribua aux spores et aux sporanges un rôle prépondérant dans la genèse des veines de houille [330]. Il fut contredit en 1871 par DAWSON qui admettait, au contraire, que les spores n'étaient que localement abondantes dans certaines veines de houille et que beaucoup de charbons n'en contenaient que très peu ou pas du tout [153]. Mes propres recherches sont venues trancher cette controverse en 1925 et dans les années suivantes. Elles ont en effet démontré, d'une part, que conformément à l'opinion de HUXLEY il existe de nombreuses veines de houille où les spores jouent un rôle



prépondérant et même quasi exclusif en tant que débris organisés et que, d'autre part, comme l'affirmait DAWSON il existe des veines de houille où les spores font complètement défaut. Il semble donc bien que les observations de ces auteurs étaient parfaitement exactes, mais qu'ils eurent tous deux le tort de généraliser hâtivement des résultats d'observations particulières trop peu nombreuses pour permettre des conclusions d'ensemble.

En 1874 WILLIAMSON démontra que les corps décrits par HUXLEY sous le nom de « *sporanges* » étaient en réalité des macrospores [681] ou mégaspores.

L'année 1879 vit paraître une série de travaux qui devinrent le point de départ de controverses célèbres. FRÉMY publia les résultats de ses recherches d'ordre purement chimique [251, 252 et 253], mais émit l'hypothèse que les houilles sont surtout formées de substances amorphes, les débris végétaux y étant aussi rares que les fossiles dans les autres roches. Pour FRÉMY les houilles auraient été primitivement des masses bitumineuses, plastiques où la fermentation tourbeuse admise par VAN TIEGHEM [659] a fait disparaître presque complètement toute structure organisée. On a beaucoup discuté sur cette idée du chimiste français qui a été la première expression de ce que les auteurs anglais ont appelé la « *Jelly theory* », théorie que certains d'entre eux accusent d'avoir eu une influence néfaste sur certains chercheurs <sup>(1)</sup>. FRÉMY lui-même crut devoir préciser sa pensée en écrivant en 1885 « *la fermentation n'a pas toujours envahi toute la masse et les portions qui y ont échappé ont conservé la structure organisée des végétaux générateurs* » [253]. Si j'ai été amené à attribuer aux substances amorphes des houilles une tout autre origine que celle que leur prêtaient FRÉMY et VAN TIEGHEM, il n'en est pas moins vrai que mes recherches sont venues démontrer la prédominance des substances amorphes dans certaines variétés de houille et confirmer, en partie, l'hypothèse de FRÉMY, tandis qu'en prouvant l'existence de houilles très riches en débris organisés j'ai pu mettre en évidence l'absence de généralité de cette hypothèse. Dans cette controverse, comme dans celle qui divisa HUXLEY et DAWSON, les antagonistes avaient tous deux partiellement raison, fait qui explique pourquoi aucune des deux opinions ne pouvait être acceptée dans sa généralité.

C'est en 1880 que parut le premier mémoire de REINSCH [508] qui fut rapidement suivi d'un certain nombre d'autres [509 à 517] où l'auteur figura abondamment et décrit des structures végétales qu'il avait pu observer dans des combustibles primaires et secondaires. Les interprétations de REINSCH furent vivement combattues par PETZHOLDT [466] puis ensuite par FISCHER et RÜST [231] qui ne laissèrent guère subsister de ses travaux qu'une figuration abondante et originale.

En 1882 GRAND'EURY publia son mémoire [278] sur la formation de la houille qui contient une foule d'indications sur la structure des roches combustibles et des houilles qu'il avait observées. Malheureusement, dans ce mémoire comme dans les nombreux travaux publiés depuis jusqu'à l'apparition de ses « *Recherches Géobotaniques* » [284], les descriptions de structures de houilles et de roches similaires ne sont pas accompagnées de microphotographies, circonstance qui diminue considérablement l'intérêt pétrographique de ses observations qui échappent ainsi à tout contrôle.

(1) En parlant de cette théorie M<sup>me</sup> STOPES et M. WHEELER se sont exprimés de la façon suivante : « *Fremy's paper was largely chemical, but his conclusions have an important bearing on microscopic investigations because he originated what may be described as the "jelly theory" which has tended to blind the eyes of many subsequent investigators to the structures in coal.* » Voir à ce sujet [613], p. 16, col. 2, et la réédition de ce mémoire [616], p. 181, col. 2.

C'est en 1883 que VON GUMBEL qui avait publié en 1858 une étude sur la Dopplerite [295] fit paraître un mémoire où il fit état de recherches effectuées grâce à la méthode de SCHULTZE qu'il perfectionna [296]. Cet auteur admit la présence dans les charbons minéraux de substances amorphes qu'il nomma « *Carbo humin* » et qui correspondent exactement à la « *gelée* » de FRÉMY, à la « *bouillie végétale* » de Grand'Eury et à la *substance fondamentale* de BERTRAND et RENAULT.

En 1885 WETHERED [667] a admis que les lits de *houille mate* étaient formés surtout par des accumulations de spores, tandis que les lits de *houille brillante* devaient leur origine aux substances ligneuses. En admettant cette notion simpliste, que j'ai démontrée fautive, WETHERED avait donc déjà décrit à cette époque les deux constituants des houilles que M. THIESSEN a nommés depuis *Attritus* et *Anthraxylon*.

C'est en 1887 que parut le mémoire fameux de HENRI FAYOL sur le terrain houiller de Commentry. [225]. Ce travail remarquable est souvent cité au sujet de la théorie allochtone des deltas qui s'y trouve exposée. Il contient une étude pétrographique très poussée des charbons paléozoïques de Commentry, étude qui occupe tout le chapitre III du mémoire ([225] pages 128 à 188) et est certainement la *meilleure*, la *plus claire* et la *plus précise* qui ait paru alors, ses qualités n'ayant été égalées et dépassées que très rarement depuis. Il n'est pas douteux que dans cette étude FAYOL a surtout profité des observations de micrographes tels que RENAULT, du reste cité dans son texte, et qu'il a admis l'erreur, commune à l'époque et encore largement acceptée, sur le prétendu rôle des tiges, des branches, des rameaux et grands lambeaux d'écorce dans la genèse de la houille brillante. *Il n'en est pas moins vrai que les idées développées par lui présentent des analogies et même des quasi identités avec celles développées récemment par certains auteurs américains et anglais.*

FAYOL a été le premier à *distinguer* et à *décrire clairement* les quatre constituants *macroscopiques* des houilles à hautes teneurs en matières volatiles de Commentry. Sous les noms de *houille claire*, de *houille foliaire* ou *moyenne*, de *houille terne* ou *grenue* et de *Fusain*, FAYOL a nettement défini les quatre constituants visibles à l'œil nu que M<sup>me</sup> STOPES a nommés *Vitrain*, *Clarain*, *Durain* et *Fusain*. De plus, le distingué directeur des Houillères de Commentry a donné les résultats des *analyses chimiques immédiates et élémentaires* de ces quatre constituants, résultats auxquels les études chimiques récentes sur les constituants de M<sup>me</sup> STOPES ne sont venues ajouter que fort peu de chose. Déjà en 1887, il avait montré que le *pouvoir cokéfiant* des houilles claires (= Vitrain) est exceptionnel, que celui des houilles foliaires ou moyennes (= Clarain) est généralement très bon et que celui des houilles grenues ou mates (= Durain) est toujours inférieur aux précédents. Par contre, le *pouvoir éclairant* des gaz obtenus par distillation de ces dernières (h. grenues) dépassait toujours de beaucoup celui des hydrocarbures gazeux résultant de la pyrogénéation des houilles claires et foliaires. Enfin, FAYOL signalait en même temps les caractères très particuliers du *Fusain* véritable anthracite ligneux *totallement dépourvu de pouvoir cokéfiant* et pauvre en hydrocarbures volatiles à pouvoir éclairant faible ou nul. Les plus grandes *richesses en cendres* du Fusain et des houilles grenues (Durain) par rapport aux houilles claires et aux houilles foliaires y sont également indiquées <sup>(1)</sup>.

(1). Consulter à ce sujet les pages 143 à 160 du mémoire de FAYOL [225] et en particulier le *tableau récapitulatif* des pages 156 et 157 où sont résumés les caractères chimiques essentiels des *quatre constituants macroscopiques* de la houille de la Grande couche de Commentry.

FAYOL est donc incontestablement le premier qui ait élevé la distinction des constituants macroscopiques des houilles au rang de système et sur ce point M<sup>me</sup> STOPES [608] (1919) et M. THIESSEN [639] (1920) n'ont fait que répéter, sans s'en douter, des notions très anciennement établies.

L'année 1892 marque une date importante dans l'histoire des recherches pétrographiques sur les roches combustibles, car elle vit paraître une première note de C. EG. BERTRAND et B. RENAULT [77] dont les beaux et importants travaux, poursuivis en collaboration ou séparément, indiquent une *orientation toute nouvelle des recherches micrographiques* concernant les roches combustibles et surtout l'emploi de *méthodes d'étude vraiment scientifique* dans ce domaine très particulier de la lithologie.

Au point de vue pétrographique pur beaucoup des travaux cités précédemment n'ont fait que déceler la présence de débris végétaux organisés dans la masse des roches combustibles sans aborder réellement le problème plus complexe de leur structure. La plupart des résultats acquis par l'examen microscopique ne dépassaient guère alors ceux que permettait plus facilement le simple examen à l'œil nu ou à la loupe, la structure ligneuse du Fusain et les macrospores étant souvent bien visibles dans ces dernières conditions d'observations. Enfin, la grande majorité de ces recherches n'ont abouti qu'à des conclusions hâtives résultant d'observations sporadiques faites le plus souvent au hasard de circonstances favorables. C'est pourquoi la plupart des mémoires, ordinairement très brefs, sont restés en règle générale isolés. En résumé, si l'on excepte les travaux de REINSCH, de GRAND'EURY et de FAYOL l'étude pétrographique des houilles n'avait été abordée en quelque sorte qu'incidemment, dans tous les cas la figuration faisant presque complètement défaut.

A l'inverse de leurs prédécesseurs C. EG. BERTRAND et B. RENAULT consacrèrent la majeure partie de leur activité scientifique à l'étude microscopique des roches combustibles et publièrent dans leurs premiers travaux d'admirables dessins d'une précision remarquable, dont la scrupuleuse exactitude est aujourd'hui reconnue [45]. Dans leurs publications ultérieures ils eurent recours aux procédés d'impression utilisant les clichés obtenus grâce à la microphotographie des lames minces qu'ils étudièrent et fournirent ainsi les preuves de la justesse de leurs observations et de leurs descriptions.

BERTRAND et RENAULT purent ainsi mener à bien *l'étude pétrographique complète* du premier type de roche combustible qui ait été décrit et figuré, celle des Bogheads ou charbons d'algues [44 à 83 ; 519 à 530]. Ces travaux si précis, si poussés et si consciencieux de BERTRAND et RENAULT sur les Bogheads furent contredits par des auteurs qui n'apportèrent pas dans leurs recherches ni la même tenacité ni la même persévérance et formulèrent le plus fréquemment des conclusions hâtives et catégoriques. Déjà en 1894 SEWARD [557] émit quelques doutes sur la réalité des algues des Bogheads, mais c'est surtout M. JEFFREY qui crut devoir nier l'exactitude des observations des deux savants français [341 et 342]. En se basant sur une similitude des formes générales qu'un simple phénomène de convergence (allure de sphères creuses que présentaient également les colonies d'algues géloïques et les exines de macrospores) suffisait pour expliquer, M. E. C. JEFFREY émit l'hypothèse que les prétendues algues des Bogheads ne sont que des spores altérées. Cette opinion erronée du botaniste américain fut partagée par M. M. WHITE et THIESSEN [676]. Plus récemment M. M. R. POTONIÉ et H. HELLMERS [494, 495 et 306] après avoir soumis des échantillons de bogheads au procédé dangereux et peu

recommandable des macérations et en s'appuyant sur de prétendues reproductions expérimentales de corps analogues aux corps jaunes des Bogheads crurent pouvoir affirmer qu'ils n'étaient pas plus des spores que des algues, mais des masses bitumineuses coagulées.

Aujourd'hui la nature algale des corps jaunes des Bogheads ne peut plus être mise en doute, les travaux de M. ZALESSKY [705] et de M. R. THIESSEN [643] l'ayant suffisamment démontrée. Les belles études de M. PAUL BERTRAND, qui lui ont permis de comparer les algues des Bogheads, examinés par son père et par B. RENAULT, aux algues actuelles et de les classer d'une façon très précise, sont venues heureusement confirmer les déterminations des deux auteurs français [88] *auxquels revient incontestablement l'honneur d'avoir étudié et figuré le premier type de roche combustible qui a fait l'objet, grâce à eux, d'une description correcte et complète.*

BERTRAND et RENAULT n'ont abordé qu'incidemment l'étude des houilles proprement dites, mais ils ont néanmoins apporté dans ce domaine une contribution qui n'a guère été égalée tant que le problème a été attaqué uniquement par les moyens d'investigation dont ils disposaient. Dans son beau mémoire « Sur quelques microorganismes des combustibles fossiles » [527] B. RENAULT étudia et figura, à côté des tourbes, des lignites, des Bogheads et des Cannel-Coals qui lui fournirent la plupart de ses matériaux de recherches, un petit nombre de houilles. *Enfin c'est à C. EG. BERTRAND que revient l'honneur d'avoir publié en 1905 [66] <sup>(1)</sup> les premières microphotographies de lames minces de houille, microphotographies qui doivent être considérées comme étant au moins aussi bonnes que celles qui ont été publiées depuis par M. M. LOMAX et JEFFREY.*

D'autre part, BERTRAND et RENAULT admirent, comme FRÉMY, GRAND'EURY et VON GUMBEL, que les houilles contiennent des substances amorphes qu'ils ont désignées par le terme de *substance fondamentale*, idée en faveur de laquelle toutes les recherches modernes ont apporté sciemment ou inconsciemment des preuves indéniables.

Les observations de RENAULT sur les microorganismes des combustibles furent mises en doute par divers auteurs et même en partie discutées par C. EG. BERTRAND [70]. Il ne paraît pas douteux que certaines de ses interprétations sont effectivement défectueuses, mais il n'en subsiste pas moins que son œuvre garde malgré cela une importance considérable, ses études sur les lignites, sur les Cannel-Coals et sur les Bogheads conservant tout leur intérêt.

En résumé, par leurs belles études sur les charbons spéciaux (Cannel Coals et Bogheads) et sur les lignites BERTRAND et RENAULT *doivent être considérés comme les véritables fondateurs de la pétrographie des roches combustibles. En ce qui concerne les houilles proprement dites ils furent de véritables précurseurs* dont les œuvres n'ont pu être égalées et dépassées qu'au cours de ces dernières années grâce à la mise au point de méthodes particulières qu'ils n'ont pu expérimenter.

En 1908 un élève de H. POTONIE, M. BARSCH, publia une étude sur les roches combustibles particulières que MUCK avait désignées sous le nom de « *Pseudo-Cannel Coals* ». Ce travail [34] où l'auteur a utilisé la méthode des macérations l'a surtout conduit à établir certaines réactions colorées figurées sur les deux planches publiées, mais ne lui a permis d'observer que des débris végétaux indéterminables représentés par trois dessins (figures 1 à 3 du texte, [34]) M. BARSCH employa dans ses expériences de macération *la liqueur de Schulze* (mélange d'acide nitrique et de chlorate de potasse), *l'acide nitrique fumant* et *l'acide chromique* (obtenu par une

(1). Voir à ce sujet les figures 26, 27, 28, 29 et 30 (Pl. III), 31, 32, et 33 (Pl. IV) du Mémoire [66].

solution de composition  $\text{Cr}^2\text{O}^7\text{K}^2 + \text{SO}^4\text{H}^2 + \text{H}^2\text{O}$ ). Ce mémoire prouve bien que, conformément à l'opinion que je rappellerai dans un des chapitres suivants, la méthode des macérations ne donne que de très vagues renseignements sur les structures végétales conservées dans les combustibles fossiles. Utilisable dans certains cas dans des recherches d'ordre chimique ou paléontologique elle doit être presque complètement bannie des recherches pétrographiques pures.

C'est en 1909 que M. JEFFREY publia une première note [341] où il émit la prétention, aujourd'hui reconnue fautive, que les corps jaunes des bogheads décrits par BERTRAND et RENAULT comme étant des algues gélosiques n'étaient que des spores altérées. Cette première note fut suivie très rapidement d'une deuxième [342] où l'auteur développa les mêmes idées. Dans ces recherches M. JEFFREY utilisa une méthode de préparation de sections minces de roche combustible obtenue par la coupe au microtome à glissière de Yung d'échantillons de charbons préalablement ramollis puis enrobés dans une substance durcissante. Par cette méthode compliquée et souvent très longue <sup>(1)</sup> le botaniste américain étudia un certain nombre de charbons de provenances et d'âges fort divers qui lui permirent de publier des études englobant à la fois les houilles carbonifères, les houilles permienues et des combustibles plus récents et de décrire plus complètement son procédé de préparation de coupes minces de charbons [343 à 350]. Parmi les nombreuses figures de charbons publiées dans ces différents mémoires beaucoup sont excellentes, mais représentent presque exclusivement des types de roches combustibles figurés depuis longtemps et d'une façon satisfaisante par C. EG. BERTRAND. <sup>(2)</sup> Sauf de très rares exceptions les figures de M. JEFFREY montrent uniquement la structure des charbons de spores qui sont seuls bien observables dans ses coupes minces.

M<sup>me</sup> M. C. STOPES a qualifié de *drastique* le procédé de JEFFREY qui comporte l'action prolongée et souvent à haute température de réactifs très violents tels que la liqueur de Schultze, l'eau régale ordinaire ( $\text{NO}^3\text{H} + \text{H Cl}$ ) ou particulière ( $\text{NO}^3\text{H} + \text{HF}$ ), l'acide fluorhydrique et les alcalis caustiques, tous corps capables de transformer profondément les substances éminemment oxydables et instables que sont les charbons. Au moment de la coupe le tranchant du rasoir peut déformer quelque peu certains corps figurés enrobés dans la masse douée d'une plasticité suffisante pour céder sous l'effort. M. JEFFREY prétend que les débris organisés ne subissent pas d'altérations sensibles au cours de la préparation des échantillons, prétention qui semble bien vérifiée pour les macrospores, mais qui reste très douteuse en ce qui concerne les débris ou organites de plus petite taille pour lesquels aucun contrôle n'est possible, les figures de cet auteur étant toujours exécutées d'après des microphotographies prises à faibles grossissements.

Enfin, détail qui a son importance, la méthode de JEFFREY ne permet d'obtenir que des préparations de petite taille qui ne se prêtent bien qu'aux observations d'ordre paléontologique et ne sont guère utilisables dans les études pétrographiques en raison de leur exigüité.

(1) Je décrirai succinctement cette méthode dans un chapitre suivant. Je rappellerai simplement ici que la préparation de certains échantillons demande plusieurs semaines et même plusieurs mois.

(2) La meilleure figure de JEFFREY est sans contredit celle qui représente la *Tasmanite* ([344] Fig. 1, p. 220). — Or ce combustible permien avait été figuré dix années auparavant par C. EG. BERTRAND. ([66], Fig. 29 et 30, P. III, Fig. 31, 32 et 33, Pl. IV). La comparaison est tout à l'avantage des lames minces de BERTRAND.

Quant aux figures de Jeffrey représentant d'autres types de houille que les charbons de spores, et en particulier des tissus ligneux, elles sont en général assez médiocres et doivent être selon toute vraisemblance rapportées au Fusain.

En 1911 M. JAMES LOMAX publia une première note [423] qui fut suivie d'un certain nombre d'autres [424 à 426] où il apporta une contribution importante à l'étude des houilles et des anthracites. M. LOMAX qui s'était spécialisé dans la confection des préparations de Coal Balls réussit à préparer de bonnes lames minces de houille dont certaines atteignent des dimensions considérables (0 m. 20×0 m. 06). Grâce à une technique particulière [427] il réussit à préparer un assez grand nombre de lames minces qui, étant donné leurs qualités exceptionnelles et sa spécialisation dans ce genre de travaux, semblent bien fixer *ce que l'on doit et peut exiger de telles lames minces* qui dans l'état actuel des procédés employés ne peuvent prétendre à donner de meilleurs résultats. M. LOMAX n'a pas poussé très loin l'étude pétrographique des charbons, mais ses travaux mettent néanmoins en évidence deux faits importants qu'on a eu le tort de négliger. Ses lames minces n'ont donné de bons résultats que dans le cas des houilles à hautes teneurs en matières volatiles (bituminous-coals) qui avaient été figurées antérieurement par C. EG. BERTRAND (1905) et lui permirent d'affirmer que le bois ne joue jamais un rôle important dans la genèse de ces variétés de charbons où, d'après lui, les feuilles, les rameaux, les fructifications et les menus fragments de plantes seraient nettement prépondérants. Une interprétation plus précise des meilleures figures publiées et l'élimination de déterminations hasardeuses faites sur les autres conduisent à attribuer ce rôle prépondérant aux spores seules comme je l'ai fait plus tard après examen de nombreuses surfaces polies. L'application de sa technique de préparation des lames minces aux houilles plus riches en carbone que les « bituminous coals » tels que les anthracites et les houilles à coke de la classification de GRUNER n'ont conduit M. LOMAX qu'à des *résultats négatifs* comme il l'a lui-même constaté dans un travail récent <sup>(1)</sup>. Il a donc démontré à la fois *que sa méthode des lames minces manque de généralité* puisqu'elle ne peut être appliquée aux houilles autres que les « bituminous coals » et *qu'elle met en évidence des différences de structure importantes* entre ces deux groupes de charbon, différences que j'ai figurées et expliquées depuis.

Les faits observés par M. LOMAX de 1910 à 1923 étaient suffisants pour permettre des conclusions générales susceptibles de ruiner, en majeure partie, la théorie de la formation sur place des couches de houille. Ces faits se dégagent aujourd'hui très clairement à la lumière des recherches récentes sur les charbons.

Par l'excellente figuration qui les accompagne les publications de M. LOMAX doivent être classées parmi les meilleures qui aient paru sur la structure microscopique des houilles. En venant s'ajouter aux bonnes figures de REINSCH, de C. EG. BERTRAND et de M. JEFFREY, qui leur sont superposables, elles ont fourni une représentation exacte des houilles bitumineuses (bituminous-coals) dont on n'a malheureusement pas tenu compte dans les théories sur la formation de la houille.

C'est en 1913 que parut un important travail général sur les charbons de M. D. WHITE et THIESSEN [676] dont une partie était consacrée aux résultats des observations microscopiques de ce dernier auteur. L'étude physique des houilles, des combustibles spéciaux (Cannel-Coals et Bogheads) des lignites et des tourbes y était simultanément abordée par les méthodes

(1). A ce sujet M. J. LOMAX s'est exprimé de la façon suivante : \* Si le charbon est anthraciteux ou si le carbone se trouve en forte proportion, les préparations sont presque noires, bien qu'on puisse reconnaître la structure lamellaire. [426] p. 452, col. 2.

des lames minces, des sections minces et des macérations. M. THIESSEN modifia légèrement la technique des coupes au microtome de JEFFREY et se déclara satisfait de préparations obtenues de cette façon et ayant *moins d'un millimètre carré de surface*. Cet auteur combattit à la fois la théorie de la *gelée fondamentale* et *l'origine algale* des corps jaunes des Bogheads et émit des hypothèses sur la formation des roches combustibles qui d'après lui auraient toutes pris naissance de la même façon que les lits de tourbes actuelles.

Dans le mémoire précédent M. THIESSEN n'avait étudié qu'un petit nombre de houilles bitumineuses. En ce qui concerne ces dernières il *précisa ses opinions* dans un travail [639 et 640] où il proposa de distinguer dans ces charbons trois constituants macroscopiques désignés respectivement par les termes de *Minéral Charcoal*, (Fusain), d'*Attritus* (houille mate) et d'*Anthraxylon* (houille brillante). La figuration de M. THIESSEN étant insuffisante et ses interprétations souvent contestables, il n'a fait que reproduire, sans s'en douter, une idée exprimée par FAYOL, qui déjà en 1887 avait reconnu dans la houille bitumineuse de la Grande Couche de Commentry des constituants équivalant terme à terme à ceux de l'auteur américain ; les termes « Fusain » et « houille claire », d'une part, et l'ensemble « houille foliaire ou moyenne houille grenue ou terne », d'autre part, correspondant respectivement aux termes *Minéral Charcoal*, *Anthraxylon* et *Attritus* <sup>(1)</sup>. Quant à l'origine ligneuse, du reste contestable, de tous les lits de houille brillante que M. THIESSEN nomme « Anthraxylon » elle avait été signalée par FAYOL, GRAND'EURY et C. Eg. BERTRAND. Ce dernier auteur a même figuré ce qu'il estimait être « une lame de bois en charbon brillant » <sup>(2)</sup> dans la houille bitumineuse de la veine Marquise d'Hardinghen.

Dans les deux mémoires cités M. THIESSEN a nié l'existence dans les houilles de *substances amorphes* ou *substance fondamentale* de BERTRAND et RENAULT. Cette négation est à mon avis étonnante car l'auteur américain n'hésite nullement à admettre la notion qu'il prétend erronée en changeant tout simplement de terminologie. La variété de *Carbonaceous matter*, dont on saisit difficilement les différences avec la *disorganized opaque matter*, où M. THIESSEN reconnaît

(1). Je rappellerai ici que parmi les régions de la grande couche décrites par Fayol ce dernier a cité des parties de cette veine où il n'a observé que trois constituants et qui correspondent, par conséquent, aux houilles américaines de M. THIESSEN. Telles sont les régions 7 et 8 du tableau des pages 156 et 157 (H. FAYOL. [225]).

Le tableau suivant indique la correspondance des deux nomenclatures.

TABLEAU I

NOMENCLATURE DE FAYOL (1887)		NOMENCLATURE
Région 7	Région 8	DE R. THIESSEN (1920)
Fusain	Fusain	Minéral Charcoal
Houille grenue	Houille foliaire	Attritus
Houille claire	Houille claire	Anthraxylon.

(2). C. EG. BERTRAND. — [66], Pl. VIII, figure 76, la soi-disant lame ligneuse est indiquée par la lettre « B ».

n'avoir pu observer aucune structure et dont l'origine reste inconnue *est par définition même une substance amorphe* <sup>(1)</sup>.

Dans les mémoires qu'il a publiés jusqu'en 1923 [639 et 640] comme du reste dans ceux qui ont paru depuis cette date [641 à 645] M. THIESSEN a développé les idées émises dans ses premières publications.

Dans des Mémoires publiés en collaboration avec d'autres auteurs [646 à 649] M. THIESSEN a cru pouvoir utiliser le caractère des spores pour établir une corrélation entre les différentes veines de houille d'un gisement.

Enfin, tout au début de 1925 M. THIESSEN publia un mémoire remarquable sur les Bogheads [643] où répudiant certaines de ses interprétations antérieures, il apporta des arguments nouveaux en faveur de la détermination comme algues des corps jaunes des combustibles spéciaux étudiés et figurés pour la première fois par C. EG. BERTRAND et B. RENAULT.

Comme je l'ai rappelé précédemment, LINDLEY avait tenté vers 1830 [418] l'étude de lames spéculaires de houille en lumière réfléchiée en utilisant pour cela le microscope ordinaire et un éclairage forcé assez oblique obtenu à l'aide d'une lentille condensatrice. Bien que dès 1871 l'invention de l'illuminateur à prisme par le français C. NACHET ait permis désormais d'aborder les examens par réflexion dans des conditions aussi favorables que les examens par transparence, ce n'est qu'en 1913 que furent entreprises simultanément en France et en Allemagne de nouvelles tentatives d'étude microscopique de surfaces polies de houille grâce au microscope métallographique qui avait donné d'excellents résultats dans l'examen des métaux et des alliages.

C'est en juillet 1913 que M. M. WAHL et BAGARD présentèrent à l'Académie des sciences un mémoire [664] où ils préconisaient l'attaque des surfaces polies de houille destinées à l'examen en lumière réfléchiée par un solvant organique la *Pyridine*. Après avoir signalé que le simple polissage ou le polissage en bas relief ne leur ont pas donné de résultats satisfaisants et que l'attaque à la flamme oxydante à la température du rouge est inapplicable aux houilles en général, ces auteurs ont pu montrer que l'attaque des surfaces polies de houille par la pyridine ne réussit que dans le cas de charbons très riches en matières volatiles. Cette attaque très nette dans le cas d'une houille de Frankenholtz (M. V. = 39,85%, Extrait pyridique = 19,3%) est encore appréciable pour une houille de la fosse n. 3 de Lens (M. V. = 34,47%, Extrait pyridique = 24,9%), mais devient nulle en ce qui concerne un charbon de la fosse n. 8 de Lens (M. V. = 21,27% ; Extrait pyridique = 0,44%) beaucoup moins riche en matières volatiles. Les deux figures publiées par M. M. WAHL et BAGARD représentent des *houilles bitumineuses* analogues à celles qui avaient été figurées antérieurement en lames minces.

En cette même année 1913 M. H. WINTER publia dans la revue « Glückauf » un article [685] où il préconisa l'attaque des surfaces polies de houille par la *liqueur de Schultze* (solution saturée de chlorate de potassium dans l'acide nitrique fumant), réactif agissant comme oxydant.

(1). M. THIESSEN s'est exprimé à ce sujet de la façon suivante [639], p. 203 : " *In general, there are two types of carbonaceous matters : one shows definite plant structure and is clearly shown to be more highly carbonized part of plants cells or bits of woody or other plant tissues, and the other shows no plant structure and is of indefinite origin. — Et plus loin : " The other kind, the disorganized and more irregular kind of opaque matter, is not so easily defined.*

De telles définitions vagues et imprécises ne peuvent *logiquement* s'appliquer qu'à des *substances amorphes*, dont M. THIESSEN nie par ailleurs l'existence.



Depuis cette époque M. H. WINTER a publié un certain nombre de courtes notes [686 à 698] accompagnées parfois d'illustrations qui mettent en évidence les inconvénients de sa méthode de préparation des surfaces polies et attaquées. Les figures qui accompagnent, en particulier, l'une des notes publiées depuis ([692], figures 1 à 12) démontrent clairement les dangers du procédé d'attaque qui a pourtant permis à M. C. A. SEYLER d'obtenir certains résultats [562].

C'est en faisant état des figures de M. WINTER que J. CORNET ([138], p. 31) puis M<sup>me</sup> STOPES et M. WHEELER ([613], p. 19, col. 1) ont pu affirmer que les microphotographies obtenues en lumière réfléchie ne peuvent pas rivaliser avec celles des lames minces.

En 1914 M. DAVID WHITE publia une étude *macroscopique* [671] d'enduits de Fusain, tels que ceux observables très fréquemment dans les houilles et y décrit de nombreux canaux gommeux. Il établit certaines corrélations entre ses propres observations et les résultats des recherches microscopiques d'autres auteurs sur les concrétions (coal-balls) des veines de houille paléozoïques et en conclut que, contrairement à l'opinion généralement admise, les résines ont joué un rôle assez important dans la formation de ces roches combustibles.

C'est également en 1914 que M. ZALESKY décrit des dépôts huileux actuels dus à l'activité d'algues microscopiques [705] et apporta ainsi un important argument en faveur de la théorie de l'origine algale des bogheads de C. EG. BERTRAND et B. RENAULT, origine aujourd'hui démontrée. En 1915 ce même auteur décrit [706] un charbon très curieux formé par des accumulations d'algues marines, charbon dont la nature très particulière est toute différente de celle des houilles.

C'est également en 1914 que parut une note de M. M. GRUMMIT et HICKLING [291] qui fut suivie en 1916 et 1917 par trois autres notes de ce dernier auteur [310 à 312] où était reprise et modifiée la « Jelly theory » de FRÉMY.

En 1919 M<sup>me</sup> M. C. STOPES publia un court mémoire [608] qui fit grand bruit et eut son heure de célébrité en raison des espoirs, aujourd'hui déçus, qu'il fit naître parmi les techniciens et les exploitants anglais qui crurent y voir des idées nouvelles susceptibles de transformer profondément les méthodes de traitement des houilles.

En réalité, le mémoire de M<sup>me</sup> M. C. STOPES ne faisait qu'introduire dans l'appellation des constituants macroscopiques des « bituminous coals » anglais une distinction proposée depuis plus de trente années par H. FAYOL [225], (p. 128 à 188) en ce qui concerne les houilles bitumineuses de la grande couche de Commentry. La concordance des nomenclatures de H. FAYOL et de la distinguée paléobotaniste anglaise peut être résumée de la façon suivante :

TABLEAU II

Nomenclature de H. FAYOL. 1887	Nomenclature M <sup>me</sup> M. C. STOPES, 1919
Houilles claires (ou lames claires)	Vitrain
Houilles foliaires (ou zones feuilletées)	Clairain
Houilles ternes (ou houilles grenues)	Durain
Fusain	Fusain

Les descriptions données par FAYOL concordent avec celles de M<sup>me</sup> M. C. STOPES, de sorte que la nomenclature récente de cette dernière ne diffère guère de l'ancienne que par les termes utilisés.

Enfin, rédigé surtout dans le but d'amener une unification des termes employés dans l'appellation des lits élémentaires des houilles bitumineuses, le travail de M<sup>me</sup> STOPES a déterminé au contraire l'écllosion d'une foule de nomenclatures sur lesquelles j'aurai occasion de revenir dans le chapitre consacré aux constituants macroscopiques des houilles du Nord de la France.

Les constituants macroscopiques que M<sup>me</sup> M. C. STOPES a cru décrire pour la première fois en 1919 ont été étudiés au point de vue chimique par M. M. TIDESSWEL et WHEELER [652] et par M. LESSING [407 et 408] qui ont mis en évidence, *faits déjà signalés par FAYOL en 1887*, que le Fusain, plus pauvre en matières volatiles, est dépourvu de pouvoir agglutinant, que le Vitrain (= houille claire) possède un pouvoir cokéfiant élevé, tandis que le Durain (houille terne) donne du coke cohérent peu boursoufflé, le Clarain (houille foliaire) pouvant se rapprocher à ce point de vue soit du Vitrain, soit du Durain. Ces auteurs ont aussi insisté sur les différences des proportions de cendres et sur leurs natures variables.

Un certain nombre d'études d'ordre chimique concernant les constituants macroscopiques des houilles bitumineuses ont été publiées dans les années suivantes notamment par M. M. BARANOW et FRANCIS [9], ILLINGWORTH [333]... Je n'insisterai ici que sur les recherches de M. M. COOPER et HENDRICKSON qui présentent au point de vue de la pétrographie de la houille un intérêt particulier parce qu'elles fixent les véritables caractères des dits constituants macroscopiques.

En 1924 M. JAMES COOPER [135] publia une intéressante étude sur une veine de houille du Fifeshire dont il analysa les divers constituants macroscopiques prélevés en différents points où ladite veine présentait dans son ensemble des compositions chimiques variables. Il put ainsi reconnaître la présence des constituants macroscopiques de STOPES ou du moins de certains d'entre eux non seulement là où la veine est à l'état de bituminous coal, mais encore dans les régions où les teneurs en matières volatiles s'abaissent même au-dessous de 15% *et démontrer que les teneurs en matières volatiles des trois constituants Vitrain, Clarain et Durain sont en général voisines les unes des autres en un point considéré.*

En 1925 M. HENDRICKSON [308] publia les résultats d'analyses de charbons d'un assez grand nombre de veines de houilles et put ainsi montrer que dans tous les cas envisagés il existe en un point donné d'une veine de houille bitumineuse *plus d'analogies que de différences entre les Vitrain, Clarain et Durain recueillis côte à côte.*

Malgré la précision de ces résultats qui viennent confirmer et s'ajouter à ceux publiés par FAYOL bien antérieurement, on semble avoir continué à faire prévaloir les différences constatées dans les pouvoirs cokéfiants et dans la nature des cendres, différences établies par M. M. TIDESSWELL, WHEELER et LESSING *d'après l'étude d'une seule houille*, celle de la Hamstead Colliery étudiée par M<sup>me</sup> STOPES.

Comme j'aurai l'occasion de le montrer au cours de cet ouvrage, il n'est pas douteux que les analogies qui existent entre les constituants macroscopiques de FAYOL-STOPES, autres que le Fusain l'emportent nettement sur les différences qui peuvent parfois exister entre eux *et que l'étude des dits constituants macroscopiques n'a guère d'intérêt si elle n'est pas accompagnée d'un sérieux examen microscopique.*

L'usage de la nomenclature de STOPES (1919) qui parut peu de temps avant celle de THIESSEN (1920) suscita dès le début certaines discussions qui amenèrent cet auteur à préciser ses idées dans des notes publiées par elle seule [609] ou en collaboration avec M. WHEELER [614].

En 1920, M. CHOSO IWASAKI publia une première note [335] qui fut complétée en 1924 par une autre publication [336] où des charbons japonais d'âges divers étaient étudiés par la méthode des lames minces. L'auteur y adoptait la nomenclature des constituants macroscopiques de R. THIESSEN.

En 1922 M. GRADENWITZ [276] publia une courte étude sur divers charbons examinés en surfaces polies et attaquées. Les figures qui accompagnent la reproduction de cet article dans *Fuel* [276] ne montrent aucune structure intéressante et mettent bien en évidence les effets désastreux de l'attaque.

Depuis 1920 M. R. POTONIÉ publia une série d'articles se rapportant presque uniquement à l'étude des lignites et ne visant qu'incidemment celle des houilles au sens strict. Ses recherches sont surtout d'ordre microchimique et se rapprochent plutôt des études chimiques que de celles de pétrographie proprement dites. Certaines de ces notes ont été signalées dans la bibliographie qui accompagne ce mémoire [485 et 486] et leur liste figure dans un ouvrage de vulgarisation publié par M. R. POTONIÉ en 1924 [487].

Pour terminer cet exposé concernant les connaissances acquises antérieurement à 1923 dans le domaine de la pétrographie des roches combustibles il me reste à rappeler brièvement certaines publications relatives au Fusain ou d'un ordre très général.

Les caractères pétrographiques du Fusain, qui est le seul constituant macroscopique des houilles parfaitement défini, ont été fixés tout au début des recherches concernant les houilles, car dès 1826 KARSTEN [356] avait déjà signalé son *origine ligneuse* et sa *pauvreté en matières volatiles*. Les recherches ultérieures sont venues confirmer cette manière de voir. Parmi ces publications je citerai celles de PETZOLDT [466], de ROGERS [539 et 540], de DAWSON [149 à 155], de DAUBRÉE [142 et 143] et de H. FAYOL [225].

Les Mémoires relatifs au mode de formation des couches de houille sont trop connus pour qu'il soit nécessaire de les analyser longuement ici où je me bornerai à rappeler les mémoires célèbres de FAYOL [225 et 226], de GRAND'EURY [278 et 284], de H. POTONIÉ [476 et 482] et de M. X. STAINIER [592].

Les mémoires généraux et de vulgarisation concernant les houilles et les roches combustibles sont également très connus. A côté des publications de GÖPPERT [258] et de H. POTONIÉ [482] je citerai l'important travail de M. J. J. STEVENSON [604] qui est certainement l'exposé général le plus complet qui ait paru sur cette question. On doit à JULES CORNET deux belles études publiées séparément [137 et 138] et figurant également dans son beau traité de géologie, où il a exposé clairement la théorie autochtone de H. POTONIÉ et les connaissances acquises en 1913 et 1920 sur les roches combustibles.

M<sup>me</sup> M. C. STOPES et M. R. V. WHEELER publièrent en 1917 une étude sur la composition des charbons [613] reproduite avec quelques additions dans le « *Fuel in Science and Practice* » [616], étude où figurent un exposé des connaissances antérieurement acquises et une bibliographie très complète sur la question des charbons minéraux.

Plus récemment des articles de vulgarisation ont été publiés par M. M. SHOHAN [568] et TIDESWELL [651].

## Conclusions du Chapitre premier.

En résumé, lorsque j'ai abordé en 1923 mes premières recherches sur la structure microscopique des houilles paléozoïques du Nord de la France l'état de nos connaissances sur les caractères pétrographiques de ces roches combustibles pouvait être brièvement exposé de la façon suivante.

1<sup>o</sup> Parmi les divers types de houilles paléozoïques *seules les houilles bitumineuses* (M.V. > 26%) avaient fait l'objet d'une figuration convenable et assez abondante. Figurées pour la première fois par C. EG. BERTRAND [66] elles ont été représentées depuis par M. J. LOMAX [423 à 426] et M. JEFFREY [344] dans des conditions telles qu'il était impossible de les considérer comme dérivant d'accumulations végétales analogues à nos tourbes actuelles, leur analogie avec les Cannel-Coals étant suffisamment démontrée à cette époque.

2<sup>o</sup> Des observations sporadiques formulées à différentes reprises par DAWSON [153], WETHERED [666] et M. JEFFREY [347] permettaient néanmoins d'affirmer *qu'il existe des types de houille dépourvus de spores ou du moins très pauvres en spores.*

3<sup>o</sup> Les recherches de H. FAYOL [225] avaient démontré dès 1887 que les veines de houille bitumineuses *ne sont pas homogènes*, mais sont en réalité constituées par la superposition des *quatre types de lits* que l'on a décrits récemment sous le nom de constituants macroscopiques des charbons.

4<sup>o</sup> Les observations concordantes de FRÉMY [251 à 253], VAN TIEGHEM [659], GRAND-EURY [278], VON GUMBEL [296], BERTRAND et RENAULT [44 à 83 ; 519 à 530], et de M. JEFFREY [341 à 350] *avaient démontré qu'il existe dans les houilles des substances amorphes parfois prédominantes.*

Parmi tous ces mémoires il y a lieu de mentionner spécialement, comme l'a fait très justement C. EG. BERTRAND, les travaux de F. REINSCH qui fut le véritable précurseur des recherches microscopiques sur la structure des houilles.

Les déterminations fantaisistes de F. REINSCH ont justifié les critiques qu'ont suscitées ses travaux, mais on peut néanmoins regretter que les dites critiques aient joué un rôle uniquement destructeur en faisant oublier qu'une partie importante de l'œuvre du savant d'Erlangen subsistait tout entière ; des faits d'observation précis et définitivement acquis ayant fait seulement l'objet d'interprétations erronées. Ces faits étaient suffisants pour permettre de fixer, dès cette époque (1880-1885), la structure particulière des houilles bitumineuses figurées seulement depuis en 1905 par C. EG. BERTRAND et pour montrer que les dites houilles bitumineuses ne présentent avec nos tourbes <sup>(1)</sup> actuelles aucune ressemblance.

Tous les faits d'observation précis sur la structure lithologique des houilles conduisaient alors à cette conclusion que toutes les variétés convenablement figurées *étaient du type Cannel Coal* et appartenaient, comme ces derniers, à la catégorie des charbons de spores dont l'origine allochtone était admise par les partisans les plus convaincus de la formation sur place alors en faveur.

(1). Le mot tourbe étant pris ici dans son sens le plus général et non dans celui de tourbe de pollen ou *Fimménite*.

## CHAPITRE DEUXIÈME

### Connaissances acquises récemment sur la structure microscopique des houilles

C'est en 1923 que M. C. A. SEYLER publia une très courte note présentant néanmoins un grand intérêt, car les dix figures illustrant les deux planches qui l'accompagnent *sont les premières que l'on peut invoquer en faveur de l'application de la lumière réfléchie à l'étude des houilles* [562]. Sans égaler les résultats obtenus depuis par simple polissage la plupart de ces figures, qui sont des microphotographies de *surfaces polies et attaquées* par la liqueur de Schultze, démontrent que ce procédé peut rivaliser avec la méthode des lames minces. Cet auteur put ainsi montrer la structure d'un anthracite riche en spores dont l'origine est malheureusement incertaine et mettre en évidence des structures ligneuses dans des combustibles similaires. Au début de 1925 M. SEYLER publia une deuxième note [564] où, tout en continuant à employer le procédé de l'attaque des surfaces polies, il signala les dangers des réactifs violents tels que la liqueur de Schultze et préconisa l'emploi de l'acide chromique. Dans cette note M. SEYLER n'a guère montré parmi les trente figures qui ornent ses cinq planches que des structures ligneuses devant être pour la plupart attribuées au Fusain des anthracites étudiés. Certaines de ces figures telles que les microphotographies 24, 25 et 27 montrent bien les effets nocifs de l'attaque, même très mitigée, que préconise ce chercheur. Les figures 4 et 22, qui sont les seules avec la figure 1 à présenter des grossissements assez faibles (respectivement de  $\times 75$  et de  $\times 100$ ), *montrent nettement les résultats désastreux de l'attaque qui en dépolissant certaines parties des surfaces de houille supprime l'une des conditions essentielles à l'examen par réflexion, qui est précisément l'existence de surfaces polies réfléchissant la lumière incidente*. Sur ces deux microphotographies, comme du reste sur celles figurant dans sa première note sous les numéros 1 à 4 ([562], p. 218, Pl. I), *les parties noires représentent les régions où par suite de l'attaque on ne peut observer la structure réelle de la roche*. Dans cette note où cet auteur a presque uniquement figuré et décrit des structures ligneuses se rapportant surtout au Fusain, il signale la rareté des lits de charbon de spores (Durain) dans les anthracites et précise donc ainsi la portée exacte de sa première note.

En 1928 M. SEYLER décrit des écorces de Lycopodiacées [565] auxquelles il attribue un rôle dans la formation des charbons. Avec l'aide de M. W. J. EDWARDS il fit paraître un court manuel [566] où il expose les techniques qu'il a utilisées, dans la préparation simultanée de surfaces polies et attaquées et de lames minces de houille qu'il recommande désormais.

En 1923 MM. TURNER et RANDALL publièrent un court mémoire [657] dans lequel ils

préconisaient l'attaque à la flamme oxydante du chalumeau des surfaces polies d'antracite destinées à l'examen en lumière réfléchie en proposant ainsi d'étendre aux charbons un procédé employé antérieurement par M. ROUSH [542] dans l'étude du graphite. Les figures publiées, dont les qualités sont loin d'égaliser celles des figures de M. SEYLER, montrent quelques structures ligneuses assez nettes. La plus belle figure (figure 1) représentant une *section verticale* a malheureusement fait l'objet d'une grave erreur d'interprétation, MM. TURNER et RANDALL ayant déterminé comme *spores* des *corps résineux* typiques. Cette première erreur en a forcément entraîné une deuxième consistant en l'affirmation de l'existence des spores dans les anthracites étudiés, fait qui n'est nullement prouvé par les figures publiées. Il est du reste probable que les structures ligneuses réelles figurées par les deux auteurs américains se rapportent uniquement comme celles de M. SEYLER au Fusain des anthracites en question.

Depuis l'année 1923 M. E. C. JEFFREY a publié plusieurs notes [347 à 350] dont certaines sont consacrées à l'étude des houilles à coke.

En 1924 M. ALAN STUART publia une très courte étude [624] sur la structure des anthracites du Pays de Galles où la figuration se réduit malheureusement à quelques dessins schématiques et dont les résultats ne font que confirmer ceux de la première note de M. SEYLER. (Analogie de certains anthracites avec les bituminous coals).

C'est au cours des années 1923 et 1924 que j'ai mis au point un *procédé de préparation par simple polissage* des surfaces de houille destinées à l'examen en lumière réfléchie qui m'a permis d'entreprendre l'étude des charbons paléozoïques du Nord de la France et de publier au début de 1925 trois notes dont je dirai quelques mots de façon à trancher ici une question de priorité.

Dans la première de ces notes qui visait les *houilles proprement dites* [180] j'ai indiqué (p. 57 à 59, § II) que *j'étais arrivé à supprimer toute méthode d'attaque* et que tous mes échantillons de houille avaient été *préparés par simple polissage*. Les différentes figures qui accompagnent cette note représentaient déjà les deux grands types de houille que j'ai distingués depuis : les *houilles ligno-cellulosiques* (Pl. II, 7 figures, Pl. IV, 6 figures, Pl. V, 2 figures) et les *houilles de cutine* (Pl. III, 7 figures, Pl. IV, 1 figure, Pl. V, 1 figure).

La deuxième note publiée [181] avait pour but de démontrer qu'il était possible de préparer *par simple polissage* des échantillons de divers *bogheads* ou charbons d'algues et de les étudier au microscope métallographique.

Le troisième mémoire [182] montrait qu'il était possible d'appliquer *cette même méthode de simple polissage* aux combustibles spéciaux désignés dans notre bassin houiller sous le nom de *gayets*, et que l'on doit considérer comme les équivalents des *Cannel-Coals* anglais ou américains et de mettre ainsi en évidence leurs grandes analogies avec certaines houilles (charbons de spores).

En janvier 1926 j'ai publié une note sur le rôle des tissus lignifiés dans la formation de la houille [183] où j'ai pu mettre en évidence que ce rôle était beaucoup moins important qu'on ne l'admettait généralement.

Enfin, en mars 1926 j'ai montré [187] que cette même *méthode de simple polissage* pouvait être appliquée avec succès aux différents types de *lignites*.

L'excellence de cette méthode a d'ailleurs été reconnue indépendamment de moi par un autre spécialiste. En 1927 mon distingué collègue M. ERICH STACH, après avoir utilisé les procédés d'attaque des surfaces polies ([575], 1925) et reconnu les effets néfastes des dits procédés,

les abandonna pour une méthode de simple polissage qu'il appliqua brillamment à l'étude des houilles, des Cannel-Coals, des Bogheads et des lignites dans un mémoire ([582], 1927) où il soulignait la nouveauté d'une technique qui m'avait permis de publier deux années auparavant les monographies que j'ai rappelées dans le développement précédent <sup>(1)</sup>.

Je n'insisterai pas autrement ici sur les monographies que j'ai publiées depuis l'année 1925 [183 à 213<sup>ter</sup>]; la plupart des idées exposées dans ces publications devant être reprises et développées dans le présent mémoire.

C'est également en 1925 que M. ERICH STACH publia sa première note sur la pétrographie des charbons où il décrit un combustible oligocène de Bavière entrant dans la catégorie des « Pechkohle ». Dans cette étude [575], l'auteur a utilisé avec des succès divers la méthode des lames minces, les procédés des macérations et des incinérations et enfin la technique métallographique. Après avoir condamné, en ce qui concerne les combustibles en question, la méthode de Winter M. E. STACH a soumis les surfaces destinées à l'examen par réflexion à une attaque par le procédé de Turner et Randall qui ne lui a guère donné de bons résultats si l'on en juge par les figures publiées ([575], Pl. XVI, figures 36 et 37) et par les remarques de l'auteur lui-même ([575], p. 286 et 287, 4).

Ce n'est qu'en 1927, après avoir publié un certain nombre de brèves études sur la structure des charbons [576 à 581], que M. E. STACH préconisa l'emploi du procédé de simple polissage dans le mémoire dont j'ai parlé précédemment [582]; mémoire qui contient un certain nombre d'excellentes microphotographies de houilles.

M. STACH a publié en 1928 un travail d'ordre purement technique et général [584] où après avoir décrit la plupart des méthodes d'études des roches combustibles il donne un aperçu de nos connaissances sur les charbons d'après les travaux de MM. THIESSEN, JEFFREY, TURNER et RANDALL, SEYLER, etc..., et ses propres recherches antérieures à cette date.

Depuis cette époque M. STACH semble s'être surtout consacré, soit seul, soit en collaboration avec d'autres chercheurs, à trouver des applications pratiques à la méthode d'étude des houilles en surfaces polies. Ses investigations ont surtout porté sur les poussières de houille provenant d'essais de séparation par tamisage, par lavage ou par flottation, poussières qu'il a réussi à polir après les avoir noyées dans un ciment approprié [583, 585, 586, 588].

Plus récemment M. STACH a publié une étude sur certaines veines de houille du bassin de la Ruhr [587] où reprenant une idée exprimée par M. WHITE [672] il attribue l'amaigrissement des couches de charbon aux pressions qui se sont développées lors des plissements et croit pouvoir expliquer de la même façon l'appauvrissement progressif en houille mate (Durain) qu'il a constaté lors du passage des charbons gras aux charbons maigres.

En collaboration avec M. LEHMAN il a également fait paraître une étude [400] sur les mêmes charbons du Bassin de la Ruhr.

En 1925 [655] et 1930 [656] M. TURNER publia deux courtes notes où il continue à préconiser la méthode d'attaque à la flamme du chalumeau des surfaces polies destinées à l'examen

(1) A ce sujet je ne puis que regretter que M. STACH dans le mémoire en question [582] et surtout dans un traité général plus récent ([584], *Kohlenpétrographisches Praktikum*, 1928), si complet par ailleurs, ait omis de signaler que dès 1925 j'avais préconisé et appliqué la méthode de simple polissage des surfaces de houilles destinées à l'examen en lumière réfléchie en décrivant comme nouvelle ([582], *Der Kohlenreliefschliff, ein neues Hilfsmittel für die Angewandte Kohlenpetrographie* 1927) une méthode que j'avais déjà utilisée au cours des années 1923-24.

en lumière réfléchie, méthode qu'il avait décrite précédemment dans une note rédigée en collaboration avec M. RANDALL que j'ai citée antérieurement. Le dernier de ces mémoires contient parmi les 26 figures publiées quelques beaux exemples de structures ligneuses et une seule figure montrant des macrospores nettes. Les deux microphotographies de lames minces sont très mauvaises et ne peuvent être prises en considération. Les conclusions de ce travail semblent en contradiction avec l'ensemble des faits observés mis en évidence par les figures mêmes de M. TURNER. Ce dernier affirme, en effet, que *les anthracites pennsylvaniens présentent exactement les mêmes constitutions morphologiques que les houilles bitumineuses* alors que ses figures démontrent que ces anthracites sont de deux types distincts dont l'un se rapproche bien de la structure des *bituminous coals*, mais dont l'autre ne se rencontre guère que dans les houilles anthraciteuses <sup>(1)</sup>. La seule conclusion nette qui s'imposait à M. TURNER était donc celle plus prudente et moins généralisée qu'avait émise M. SEYLER et que j'ai pu contrôler depuis dans le Nord de la France : *que certains anthracites dérivent comme toutes les houilles bitumineuses de dépôts organiques riches en spores.*

Depuis 1925 M. WHEELER et ses collaborateurs ont publié une série d'articles où la question des houilles est presque exclusivement abordée au point de vue chimique. Je ne citerai ici que ceux de ces mémoires qui contiennent quelques microphotographies de surfaces polies, de lames minces ou de débris de houille macérés [248 à 250]. Je me bornerai à rappeler que des recherches menées parallèlement à mes propres investigations dans un tout autre genre d'étude ont amené M. R. V. WHEELER à formuler, en 1927 [668], des conclusions quasi identiques à celles que j'avais publiées en 1925. La substance fondamentale (Pâte) et les débris végétaux (corps figurés) que j'avais décrits et représentés dans mon premier mémoire [180] correspondant respectivement aux « *ulmins* » et aux « *plant material resistant to decay and to chemical treatment* » <sup>(2)</sup>. Je signalerai encore trois notes de M. WHEELER publiées en collaboration avec MM. COCKRAM [134], EVANS et SLATER [219] et HOLROYD [322 et 323] où figurent quelques microphotographies de lames minces ou de surfaces polies et attaquées de houilles bitumineuses.

Depuis 1923, M. REINHARDT THIESSEN a publié plusieurs notes [642 à 645] où il s'est borné à préciser les idées émises en 1920 dans un mémoire que j'ai cité précédemment. En collaboration avec M. FRANCIS [646] le chimiste américain a en outre fait paraître un article destiné à établir la corrélation entre sa propre nomenclature et celle de M<sup>me</sup> M. C. STOPES. Les figures qui accompagnent ces différentes publications donnent lieu aux mêmes remarques que j'ai formulées précédemment en ce qui concerne les mémoires antérieurs du même auteur et les quelques rares microphotographies de surfaces polies existant parmi elles démontrent

(1) La figure 22 [656] de M. TURNER représente le type d'anthracite commun dans le Nord de la France où l'on n'observe guère que des substances amorphes (pâte) et des menus débris de bois (Fusain ou bois gélifiés). Ce type diffère essentiellement des *bituminous coals* anglais (LOMAX), américains (JEFFREY) ou des houilles bitumineuses françaises que j'ai étudiées jusqu'ici.

Par contre la rareté des spores, caractéristiques des houilles bitumineuses, a été reconnue par M. SEYLER dans les anthracites anglais et par moi dans les houilles anthraciteuses françaises. Dans les anthracites allemands la présence des spores a été niée par M. BODE [91 et 92].

(2) Cette analogie a déjà du reste été signalée par M. H. LEIGH. FERMOR [227].



que la méthode très spéciale de polissage préconisée par lui donne des résultats bien inférieurs à toutes les autres.

Après avoir publié dans « Chaleur et Industrie » un mémoire [426] contenant de nombreuses et très belles microphotographies de lames minces de houilles bitumineuses M. J. LOMAX décrit sa méthode de préparation des grandes coupes de charbon dans la confection desquelles il a su exceller [427]. En 1925 il signala [428] un tronc de Lycopodiacee transformé en houille brillante qu'il a désignée sous le nom de Vitrain <sup>(1)</sup>. Il a publié depuis une étude de lames minces représentant toute l'épaisseur d'une veine de houille [429].

En 1926 M<sup>lle</sup> MARJORIE EVANS fit paraître une étude préliminaire de houilles anglaises [218] puis en collaboration avec MM. SLATER et WHEELER une note sur le Vitrain [219].

M. TH. LANGE a publié en 1926 et 1927 deux mémoires [371 et 372] où il a étudié par la méthode des lames minces des houilles de Haute Silésie et donné de bonnes descriptions des spores qu'elles contiennent, puis en 1928 une série de notes [374 à 376] sur les caractères des poussières de charbon et sur les produits de tamisage, de lavage et de flottation des combustibles ; notes qui furent suivies en 1928 de trois études sur le Fusain [377 à 379].

Après avoir publié en 1926 une des meilleures études chimiques qui aient paru sur les constituants macroscopiques des houilles [105], M. O. DE BOOSERÉ a fait imprimer en 1928 une note [106] sur la structure microscopique de ces constituants qu'il a représentés en surfaces simplement polies à l'aide d'excellentes microphotographies.

En 1926 parut une étude de M. R. POTONIE traitant surtout des constituants macroscopiques des houilles [490], étude qui avait été précédée de mémoires d'ordre plus général [486 à 489] et qui fut suivie de publications analogues [491 à 493] et d'études sur les Bogheads faites en collaboration avec M. HELLMERS [306, 494 et 495].

Depuis 1927 M. M. LEGRAYE a publié un certain nombre d'intéressantes études consacrées surtout aux charbons des bassins de Liège et de Charleroi [389 à 399] où il n'aborda guère que leur examen macroscopique sans insister beaucoup sur leur structure microscopique.

En 1928 M. CHOZO IWASAKI fit paraître une bonne étude du charbon tertiaire de Fu Shun (Mandchourie) [339] où il figura de nombreux débris végétaux caractéristiques des lignites. Cette étude avait été précédée de mémoires [336 et 337], complétant ses publications antérieures, et d'un travail sur l'ambre de Kuji [338].

A côté d'études sur les lignites [93, 104] et sur les Bogheads [101] M. H. BODE a publié plusieurs notes sur les charbons paléozoïques [91, 92, 369] et différents articles d'ordre général [97 à 100 et 102] <sup>(2)</sup>.

Au cours des années 1928 et 1929 M. H. WINTER a fait paraître plusieurs études assez brèves [689 à 698] sur les charbons allemands.

M. GUNNAR HORN a publié en 1928 une bonne monographie sur les charbons du Spitzberg et de l'île des Ours appartenant au Dévonien, au Culm, au Crétacé inférieur et au tertiaire [324]. Il a utilisé dans ses recherches les méthodes de macérations, des lames minces et des surfaces simplement polies et obtenu par ce dernier moyen de très bonnes figures de charbons

(1) Dans la terminologie que j'ai adoptée depuis, cette houille brillante aurait été désignée par le terme de Xylovitrain [183].

(2) A propos du dernier article cité [102] voir aussi LIESKE (R.). — *Brennstoff Chemie*, XI, N° 8, p. 160 à 163, 1930.

de cuticules et de tissus ligneux. Certains des charbons du crétacé inférieur représentés par cet auteur sont quasi identiques aux charbons paléozoïques du Nord de la France que j'avais figurés et décrits antérieurement <sup>(1)</sup>. M. HORN a décrit depuis un charbon d'aspect analogue au jais [325].

Depuis 1927 M. W. P. EVANS a publié différentes études sur la structure microscopique des lignites de la Nouvelle Zélande [220 à 222]. La dernière note citée contient de très belles microphotographies de *lames minces* représentant des tissus ligneux du lignite en question. Les microphotographies de *surfaces polies et attaquées* qui figurent soit dans cette note, soit dans les précédentes, sont de qualité beaucoup moindre et montrent surtout les dangers de la technique employée qui dans le cas spécial envisagé se révèle nettement inférieure à la méthode des lames minces. Dans l'étude de ces lignites l'attaque des surfaces polies est incontestablement un procédé dangereux qui ne permet d'observer que des structures très grossières.

En 1928 parut une étude physique de M. FERMOR sur des charbons asiatiques [227], qui a été suivie en 1929 de celle de houilles brillantes (Vitrain) indiennes [229]. Entre temps ce même auteur avait signalé les caractères de certains charbons en contact avec des filons de basalte [228].

En 1928 M. M. D. ZALESSKY a publié deux études sur des charbons sibériens qu'il a figurés à l'aide de reproductions d'aquarelles [708 et 709].

En 1929 parut une étude de M. HSIEH portant surtout sur des charbons jurassiques de la Chine qu'il a étudiés en surfaces polies et à l'aide de débris isolés par macération [326]. Plus récemment il a publié un mémoire [327] où il préfère au procédé des surfaces simplement polies la méthode des surfaces polies et attaquées qui, d'après lui, serait seule capable de révéler toutes les structures végétales des houilles.

M. O. STUTZER a décrit en 1929 et figuré à l'aide de très belles microphotographies de surfaces polies un type de charbon riche en Fusain désigné en Allemagne par le terme de *Russkohle* et a publié depuis une étude de lignite bulgare et un aperçu général sur la pétrographie des charbons [627 à 630].

Au début de 1930 M. BODDY a publié une très courte étude accompagnée de quelques bonnes figures de spores d'après des lames minces [90].

En 1930 M. P. E. HALL publia une étude chimique et microscopique de charbons du Natal et du Transvaal [299] qu'il a représentés par quelques microphotographies de lames minces où la structure de la roche n'est que très vaguement mise en évidence.

Pendant cette même année (1930) MM. ELOVSKI [215] et ERGOLSKAIA [216] publièrent de brèves études sur des charbons russes qu'ils ont figurés à l'aide de reproductions d'aquarelles.

C'est également en 1930 que M. ZERNDT publia deux mémoires qui contiennent les meilleures figures de macrospores isolées par macération [713 à 715].

Enfin, c'est en cette même année 1930, qu'à la suite de recherches entreprises au *Laboratoire de Géologie* et au *Musée houiller* de l'Université de Lille, que M. J. R. FANSHAWE a présenté comme thèse de Doctorat d'Université un mémoire sur les houilles à coke et les anthra-

(1) Comparer en particulier la figure 4 de la planche II de l'ouvrage de M. HORN avec la partie inférieure de la figure 77, Pl. XV, du présent mémoire et avec les figures de la note que j'ai publiée antérieurement [193].

cites américains [224] (voir aussi [212]) et que M<sup>lle</sup> SIMONE LEFRANC a publié avec ma collaboration une étude sur les charbons du centre de la France [213].

Pour clore cette longue liste de travaux récents sur la pétrographie des roches combustibles je citerai encore deux séries de mémoires, qu'en raison de la nature particulière des méthodes d'investigation employées j'ai tenu à faire figurer à part sans tenir compte de leur date d'apparition chronologique.

La première série de mémoires [241, 242, 244] a été publiée à la suite des tentatives de M. C. S. FOX d'appliquer aux lames minces de houille les méthodes de recherches en lumière polarisée comportant l'emploi du microscope minéralogique.

La deuxième série de publications comprend celles où M. C. N. KEMP a consigné les résultats de ses recherches sur les charbons poursuivies à l'aide des rayons X [361 à 363]. M. KEMP a soumis à la radiographie des tranches de houille d'épaisseurs convenables et obtenu de cette façon des résultats bien supérieurs à ceux réalisés antérieurement à ses travaux. Au point de vue pétrographique ces résultats ne sont pas comparables à ceux qu'ont fournis les examens de lames minces et de surfaces polies, la radiographie des charbons ne paraissant pouvoir donner d'indications précises *que sur la distribution des substances minérales dans leur masse et dans les différents lits qu'on peut y observer*. Les domaines des deux types d'investigation se trouvent donc nettement définis et l'application des rayons X à l'étude des charbons n'apparaît que comme un complément des examens microscopiques qui ne saurait être considéré comme une méthode de recherches susceptible d'être substituée, même partiellement, au procédé des lames minces ou des surfaces polies qui formeront toujours les bases de l'étude lithologique des roches combustibles. Je montrerai dans le cours de cet ouvrage que la méthode des surfaces polies est elle-même capable de fournir des indications sur la distribution des substances minérales dans les charbons et j'utiliserai dans le chapitre consacré aux substances inorganiques des houilles les résultats mis en évidence par l'excellent travail de M. KEMP.

## RÉSUMÉ DE L'EXPOSÉ HISTORIQUE

L'exposé précédent relatif aux travaux publiés sur la structure microscopique des houilles montre clairement les différences essentielles qui caractérisent les deux périodes que j'ai cru devoir distinguer en les décrivant dans deux chapitres séparés. Il met ainsi en évidence qu'antérieurement à 1923 les mémoires sont relativement rares, tandis qu'ils deviennent, au contraire, très nombreux postérieurement à cette même date. La plupart des mémoires publiés récemment consacrent un fait que l'on ne prévoyait guère dans la période précédente où l'on avait tendance à considérer les houilles comme des roches formées de grands débris végétaux. Ce fait est *l'extrême pauvreté des houilles en débris organisés susceptibles d'être utilisés dans des recherches d'ordre paléobotanique*. Cette particularité explique pourquoi beaucoup de recherches entreprises surtout dans cet ordre d'idées n'ont pas été poussées très loin, leur champ d'action dans ce domaine étant évidemment très limité.

Une autre tendance également mise en évidence par le chapitre deuxième est celle de

*la recherche d'applications pratiques des examens microscopiques des houilles* qui se manifeste nettement dans beaucoup de mémoires récents où l'on a trop souvent oublié que de telles recherches supposent avant toute chose la connaissance parfaite de la structure des dites houilles et qu'elles ne donnent que très rarement de résultats intéressants lorsque l'on cherche à les étayer sur des observations insuffisantes. De telles recherches d'applications pratiques seront, à mon avis, prématurées tant que l'usage des méthodes d'investigation obligera à chaque instant à énoncer des problèmes non résolus que certains auteurs n'ont que trop tendance à considérer comme ayant reçu des solutions satisfaisantes. C'est pour cette raison que, sans jamais perdre de vue l'intérêt des applications pratiques des études microscopiques des houilles, j'ai cru devoir m'attacher surtout à tenter de résoudre tout d'abord le problème de la structure microscopique des houilles qui n'avait jusqu'ici reçu de solution suffisante.

En agissant de cette façon j'espère avoir prouvé que malgré l'extrême pauvreté des houilles en débris organisés susceptibles de servir de base à des recherches paléobotaniques l'étude microscopique des houilles laisse subsister un champ d'investigation très vaste que je n'ai nullement la prétention d'avoir épuisé, soit dans ce mémoire, soit dans ceux qui l'ont précédé. et dont la mise en valeur sera l'œuvre de demain.

---

**LIVRE PRÉLIMINAIRE**

**LES MÉTHODES D'ÉTUDE MICROSCOPIQUE  
DES ROCHES COMBUSTIBLES  
LA TECHNIQUE DE SIMPLE POLISSAGE**

CHAPITRE TROISIÈME

**Les différentes méthodes d'examen microscopique  
des houilles et des roches combustibles**

SOMMAIRE

Multiplicité des méthodes d'investigation.

- I. — EXAMEN PAR TRANSPARENCE. 1<sup>o</sup> Méthode des lames minces. 2<sup>o</sup> Méthode des sections minces. 3<sup>o</sup> Méthode des macérations. 4<sup>o</sup> Méthode des incinérations. 5<sup>o</sup> Méthodes microchimiques.
  - II. — EXAMEN PAR RÉFLEXION. 1<sup>o</sup> *Méthodes des surfaces polies et attaquées.* a) Méthode de Wahl et Bagard. b) Méthode de Winter. c) Méthode de C. A. Seyler. d) Méthode de Williams. e) Méthode de C. Iwasaki. f) Méthode de Turner et Randall. 2<sup>o</sup> *Méthode de simple polissage.* Méthode de A. Duparque.
  - III. — EXAMEN PAR DES MÉTHODES DIVERSES. 1<sup>o</sup> Emploi de la lumière polarisée. 2<sup>o</sup> Emploi des rayons X. 3<sup>o</sup> Procédé des photographies de contact.
- CONCLUSIONS.

L'étude morphologique des houilles et des roches combustibles, comme du reste celle d'une roche quelconque, ne présente d'intérêt vraiment scientifique qu'autant qu'elle procède d'un examen microscopique sérieux seul capable de révéler la structure intime de leur substance et de mettre en évidence certaines différences que des examens superficiels à l'œil nu ou à la loupe se révèlent impuissants à déceler.

Les grandes difficultés rencontrées dans les tentatives d'application du microscope à l'étude des houilles expliquent la multiplicité des moyens d'investigation utilisés que l'on peut ranger en trois catégories distinctes suivant qu'ils procèdent :

- I. — d'examens par transparence,
- II. — d'examens par réflexion,
- III. — d'examens par des méthodes diverses telles que l'emploi des rayons X ou de la lumière polarisée.

## I

**Examen par transparence.**

L'instrument utilisé dans ce genre d'examen est presque toujours un microscope muni de l'appareil d'éclairage d'Abbe analogue à ceux que l'on emploie dans les recherches de Zoologie, de Botanique et de Bactériologie. Assez rarement on a fait appel aux microscopes du type pétrographique permettant des recherches en lumière polarisée. Dans tous les cas le faisceau éclairant traverse la préparation de houille et est transmis par elle à l'objectif du microscope, d'où le nom d'*examen en lumière transmise* que l'on donne fréquemment à ce mode d'investigation lorsqu'il est appliqué à l'étude des charbons. Les différentes méthodes employées se distinguent les unes des autres par les moyens utilisés dans la confection des préparations destinées à l'examen par transparence.

**1° — Méthode des lames minces**

La méthode courante employée pour la confection des *lames minces* de roches dures et compactes comme les granites, les calcaires cristallins, les grès, etc... n'a donné de bons résultats que dans l'étude des charbons spéciaux tels que les Cannel-Coals et les Bogheads (charbons d'algues) décrits par C. EG. BERTRAND et B. RENAULT [44 à 83 ; 519 à 530]. Appliquée aux houilles pour la première fois par REINSCH [508] elle n'a pu être utilisée que dans le cas de variétés très spéciales dont les caractères se rapprochent de ceux des Cannel-Coals et n'a guère permis d'obtenir qu'un très petit nombre de lames minces susceptibles d'être examinés au microscope en lumière transmise <sup>(1)</sup>.

Les difficultés rencontrées dans la confection des lames minces de houille ont du reste été signalées par M. LUCIEN CAYEUX qui a en outre indiqué dans son beau mémoire sur la pétrographie des roches sédimentaires ([131], p. 92 et 93) un procédé spécial de préparation des sections de houille.

Plus récemment M. M. R. THIESSEN ([640], p. 10 à 12) et J. LOMAX [426 et 427] ont utilisé des procédés spéciaux dans la confection de lames minces de houille. M. J. LOMAX en particulier a obtenu des lames minces de charbons de spores remarquables par leur transparence et leurs dimensions.

**2° — Méthode des sections minces**

Les grandes difficultés rencontrées dans la taille de lames minces de houille par usure progressive de la roche ont incité M. E. C. JEFFREY à rechercher une autre méthode de préparation des lames de houille destinées à l'examen par transparence. Cette méthode employée

(1) C. Eg. BERTRAND dont les beaux travaux sur les Bogheads sont universellement connus a fait procéder à la confection de nombreuses lames minces dans des houilles de provenances très diverses. Malgré l'habileté de ROUSSEAU, auquel on doit d'admirables lames minces de Bogheads et de Cannel-Coals, *trois préparations seulement* exécutées dans la même houille d'Hardinghen révèlent une partie de leur structure. Toutes les autres lames minces de houille *uniformément opaques* sont inutilisables.

par lui dès 1909 [341] et décrite seulement en 1924 [348] consiste à *ramollir* des petits fragments de houille en les soumettant pendant des espaces de temps souvent assez longs à l'action de réactifs très énergiques, puis à les *durcir* par un enrobage approprié de façon à permettre *leur débitage en coupes minces* à l'aide d'un microtome de Yung <sup>(1)</sup>. Cette méthode compliquée et assez longue, employée également par M. R. THIESSEN [676], permet d'obtenir des préparations de très petite taille (quelques millimètres carrés) qui sont parfois d'une transparence remarquable. Elle ne paraît avoir donné jusqu'ici de résultats satisfaisants que dans le cas de combustibles particuliers (Cannel-Coals, Bogheads, certaines houilles de spores) qui avaient pu être étudiés antérieurement par le procédé ordinaire des lames minces.

### 3° — Méthode des Macérations

Cette méthode comme celle des incinérations, que je rappellerai ensuite, ne constitue pas à proprement parler un procédé d'investigation pétrographique, car sa mise en œuvre entraîne la destruction complète de la structure de la roche à étudier et ne permet d'observer que certaines parties ayant résisté à des réactifs très énergiques.

Le principe de la méthode des macérations repose sur le fait que l'action ménagée de réactifs appropriés est capable de faire passer en solution certaines substances constitutives des charbons en respectant certaines autres dont l'organisation se trouve tout au moins partiellement conservée. La plupart de ces réactifs sont des oxydants énergiques, employés le plus souvent à haute température et capables d'entraîner une destruction totale de la roche combustible lorsque leur action est suffisamment prolongée.

Cette méthode a été imaginée par von GUMBEL [296] qui a préconisé l'emploi successif de la *liqueur de Schultze* <sup>(2)</sup> et d'une base énergique (KOH, NaOH). On a utilisé depuis à la place de la liqueur de Schultze le *mélange chromique* <sup>(3)</sup>, la *liqueur de Hoffmeister* <sup>(4)</sup>, les *Hypochlorites* et plus récemment l'*Acide azotique* (BARSCH, [34]), l'*eau oxygénée* (FRANCIS et WHEELER, [250]) et certains réactifs organiques tels que l'*acide acétique chloré* et les *phénols*.

Ces procédés ont permis l'isolement des macrospores et des cuticules des houilles bitumineuses. Ils sont surtout applicables aux lignites et permettent également l'examen pollinique des tourbes. Les résidus de macération sont montés, entre lame et lamelle, dans la glycérine et examinés par transparence à l'aide du microscope ordinaire.

### 4° — Méthode des incinérations

Cette méthode expérimentée en 1848 par GÖPPERT [258] et employée depuis par VON GUMBEL ([296], p. 111) consiste à incinérer de très minces esquilles du charbon à étudier en prenant les précautions nécessaires pour que ces fragments conservent leur individualité une fois l'opération terminée. Dans certaines circonstances favorables, les squelettes minéraux ainsi obtenus montés dans la glycérine entre lame et lamelle révèlent au microscope en lumière

(1) Ce microtome est du type à glissière, il est utilisé en zoologie lorsque l'on veut obtenir des coupes de grande surface.

(2) Cette liqueur est une solution saturée de chlorate de potasse dans l'acide azotique concentré.

(3) Bichromate de potassium et acide sulfurique.

(4) Solution saturée de chlorate de potasse dans l'acide chlorhydrique.

transmise des vestiges d'une organisation végétale. M. E. STACH [584] a proposé d'incinérer des lames minces trop épaisses et non transparentes inutilisables telles quelles qui peuvent alors montrer après ce traitement des traces d'organisations végétales.

Le procédé des incinérations, comme celui des macérations, ne permet d'observer la structure que d'une partie seulement de la roche combustible.

### 5° — Méthodes microchimiques

Ces méthodes n'interviennent en réalité que comme complément de l'examen microscopique des lames minces et consistent à traiter ces dernières par des réactifs appropriés. Décrites par M. R. POTONIE [487] elles permettent de provoquer des réactions colorées ou des colorations sélectives de certains tissus végétaux. Ces méthodes n'ont pu guère être appliquées avec succès qu'à des combustibles autres que les houilles (tourbes, lignites). Les bonnes lames minces de houille sont trop rares et trop précieuses pour que leurs détenteurs puissent se résoudre à les soumettre à des réactions susceptibles de les perdre irrémédiablement.

## II

### Examen par réflexion.

Cet examen microscopique est celui qu'il convient d'appliquer aux substances opaques ou à celles qui ne se laissent pas tailler en lames suffisamment minces pour révéler leur structure à l'examen par transparence. Il nécessite la confection de surfaces polies réfléchissant la lumière d'où le nom de *méthode des surfaces polies* qu'on lui donne souvent. Employé surtout jusqu'ici dans l'étude des métaux et des alliages on le désigne fréquemment par le terme d'*examen métallographique* qui est devenu synonyme dans le langage courant d'examen par réflexion.

Les grandes difficultés rencontrées dans la confection des lames minces de houille et l'opacité de cette roche qui se manifeste même pour les sections de faible épaisseur ont suggéré depuis longtemps l'idée de substituer l'*examen par réflexion* à l'examen par transparence. Il semble bien que l'on doive attribuer à LINDLEY <sup>(1)</sup> l'idée première de la préparation de *surfaces spéculaires de houille* destinées à être étudiées au microscope ordinaire. A cette époque (1831-1837) l'éclairage par réflexion était réalisé grâce à une lentille fixée latéralement au tube du microscope par un bras articulé <sup>(2)</sup>. Cet éclairage forcément très oblique ne permettait l'emploi que des objectifs à grande distance frontale et de grossissements assez faibles. Pour cette dernière raison et aussi par suite de l'insuffisance de l'éclairage direct l'étude physique des houilles en surfaces polies ne put être poussée bien loin, de sorte qu'après LINDLEY le microscope à lentille ne fut plus guère employé dans les recherches pétrographiques concernant les roches combustibles.

(1) C'est en partie de cette façon qu'ont été faites les observations microscopiques dont font état LINDLEY et HUTTON dans leur mémoire célèbre [418].

(2) Des dispositifs particuliers destinés à faciliter les examens par réflexion des corps opaques avaient été imaginés par HOOKE dès 1665 et par LIEBERKUHN en 1738. Ces dispositifs étaient basés sur des principes tout différents de ceux appliqués dans la construction des illuminateurs verticaux.



L'examen par réflexion à grossissements moyens ou forts n'a été rendu pratiquement possible que grâce à l'invention de l'illuminateur à prisme imaginé par C. NACHET en 1871. Cet illuminateur, qui à peine modifié constitue l'appareil d'éclairage de la plupart des microscopes métallographiques modernes, permet de transformer rapidement un microscope ordinaire en microscope par réflexion ; il est représenté schématiquement par la figure 1<sup>re</sup> qui indique, en particulier, la marche des rayons dans le dispositif d'éclairage où l'objectif joue le rôle de condensateur. La figure 2<sup>re</sup> représente un autre type d'illuminateur vertical où une lame de verre plane est substituée au prisme à réflexion totale de NACHET.

En utilisant le dispositif d'éclairage de NACHET par prisme à réflexion totale M. H. LE

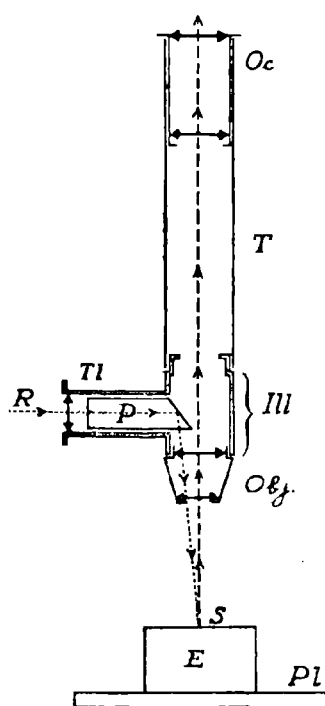


FIG. 1<sup>re</sup>.

FIG. 1<sup>re</sup>. — Dispositif d'éclairage par prisme de NACHET.

FIG. 2<sup>re</sup>. — Dispositif d'éclairage par verre plan de REICHERT.

LÉGENDE COMMUNE AUX DEUX FIGURES

E. — Échantillon à examiner.

Ill. — Illuminateur.

L. — Lame de verre plan inclinée à 45° et utilisée comme dispositif réflecteur dans l'illuminateur Reichert.

Obj. — Objectif.

Oc. — Oculaire.

P. — Prisme servant de dispositif réflecteur dans l'illuminateur Nachet.

Pl. — Platine du microscope.

R. — Faisceau éclairant représenté en pointillé.

S. — Surface polie réfléchissant le faisceau formant l'image figuré en points tirés.

T. — Tube du microscope.

Tl. — Tube latéral d'éclairage.

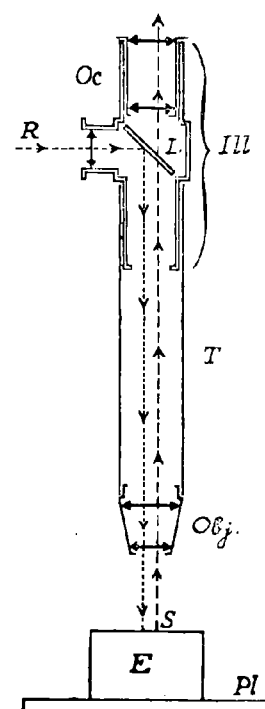


FIG. 2<sup>re</sup>.

CHATELIER a inventé un type de microscope par réflexion où la platine placée au-dessus de l'objectif, dont la lentille frontale se trouve dirigée vers le haut, rend plus commode l'orientation correcte de la surface polie par rapport à l'axe optique, cette orientation s'obtenant par le seul fait que la surface de l'objet à examiner repose sur la dite platine. Le renversement du microscope est obtenu grâce à un second prisme à réflexion totale qui est susceptible de tourner autour d'un axe, rotation qui permet en outre de passer rapidement de l'observation subjective à la microphotographie. (Voir figure 3<sup>re</sup>, p. 52).

Bien que l'invention de l'illuminateur à prisme de NACHET (1871) et du microscope LE CHATELIER ait permis un rapide développement des recherches métallographiques l'application du microscope en lumière réfléchi à l'étude des charbons est d'une utilisation relativement

récente. Ce n'est en effet qu'en 1913 que MM. WAHL et BAGARD [664] en France et M. H. WINTER [685] en Allemagne préconisèrent l'usage du microscope en lumière réfléchie dans l'examen pétrographique des charbons. Depuis cette époque, surtout au cours des dix dernières années, un assez grand nombre de chercheurs ont tenté d'appliquer le microscope métallographique dans le domaine des roches combustibles. La principale et pour ainsi dire la seule difficulté à vaincre consistant à obtenir de bonnes surfaces de houille ou de lignite les divers procédés d'investigation ne diffèrent guère que par les méthodes employées dans la confection des préparations destinées à l'examen par réflexion. Ces méthodes que je décrirai ici très rapidement se classent naturellement en deux groupes suivant qu'elles comportent *deux opérations successives et distinctes* (polissage et attaque) ou *une seule* (simple polissage).

### 1° — Méthodes comportant à la fois des opérations de polissage et d'attaque

Ce sont ces méthodes qui ont été les premières et les plus couramment employées. Elles sont, quant à leur principe, identiques à celles utilisées en métallographie et comportent toutes *l'attaque par des réactifs ou des agents convenables* de surfaces préalablement polies. Les procédés de polissage préconisés par les divers auteurs ne diffèrent pas sensiblement de ceux employés dans la technique métallographique. Les réactifs ou les agents d'attaque proposés sont en règle générale des *oxydants très énergiques* et plus rarement des *solvants*. Les diverses méthodes décrites ne diffèrent les unes des autres que par les moyens employés dans la technique de l'attaque. Je les décrirai brièvement en respectant autant que possible leur ordre d'apparition chronologique.

#### a) MÉTHODE DE WAHL ET BAGARD, [664], 1913.

Cette méthode préconise l'attaque des surfaces polies par un solvant organique la *Pyridine*, chauffée au bain marie pendant des espaces de temps variant avec la nature de la houille étudiée. Elle permet la corrosion des surfaces des houilles bitumineuses riches en matières volatiles et cédant à l'extraction de fortes proportions d'extrait pyridique, mais ne modifie pas sensiblement les surfaces spéculaires de houille moins riches en matières volatiles. Dans les exemples cités les charbons ayant donné des résultats appréciables titraient 39,85% de matières volatiles et cédaient à la pyridine 19,3% de leur masse. Quelques résultats ont pu être enregistrés pour des houilles contenant 34,47% de matières volatiles et 24,9% d'extrait pyridique, tandis que les surfaces d'un charbon à coke à 21,27% de matières volatiles et donnant à l'extraction 0,44% seulement de son poids ne présentaient aucune différence de structure avant et après attaque.

Le procédé de WAHL et BAGARD n'était donc applicable qu'aux houilles bitumineuses dont les teneurs en matières volatiles se rapprochaient de 40% c'est-à-dire aux variétés de charbons qui avaient également permis la confection de bonnes lames minces.

#### b) MÉTHODE DE WINTER. [685] (1913)

Cette méthode consiste à attaquer les surfaces polies par la *liqueur de Schultze* qui est une solution saturée de chlorate de potasse dans l'acide azotique fumant. Cet oxydant très énergique, employé le plus souvent à chaud, attaque certaines parties des surfaces polies de charbon

et respecte à peu près la structure de certaines autres qui se trouvent ainsi mises en relief. Les contours des débris organisés de grande taille tels que les macroscopes et certains débris ligneux peuvent être observés lorsque les circonstances s'y prêtent.

c) MÉTHODE DE C. A. SEYLER. [564] (1925)

M. C. A. SEYLER qui avait d'abord expérimenté la méthode de WINTER et l'estimant trop brutale a proposé ultérieurement le *mélange chromique* comme réactif d'attaque, mélange constitué par une mixture en proportions convenables d'acide chromique, d'acide sulfurique et d'eau, mixture que l'on évapore jusqu'à apparition des premiers cristaux. Le mélange qui fixe de l'eau doit être concentré chaque fois qu'on l'utilise et est employé à l'ébullition. Dans certains cas M. SEYLER soumet à un nouveau polissage les échantillons attaqués.

d) MÉTHODE DE T. B. WILLIAMS [679], (1926)

En 1926 M. T. B. WILLIAMS a utilisé l'*Oxychlorure de Sélénium* comme réactif d'attaque des surfaces polies de houille.

e) MÉTHODE DE CHOZO IWASAKI [339 et 340] (1928).

Après avoir constaté les dangers et les inconvénients des méthodes précédentes et de celle de TURNER et RANDALL dans l'attaque des surfaces polies du charbon tertiaire de Fu Shun (Mandchourie) M. CHOZO IWASAKI a préconisé l'emploi de la *tétraline* agissant comme solvant.

f) MÉTHODE DE TURNER et RANDALL [657], (1923).

Cette méthode consiste à appliquer aux surfaces de houilles un procédé employé en 1911 par M. ROUSH [542] dans l'étude du graphite au microscope en lumière réfléchie, procédé qui consiste à porter à la température du rouge la surface polie à attaquer. Dans le cas des houilles ou plus exactement des anthracites, M. M. TURNER et RANDALL ont proposé de substituer à l'attaque par des solvants ou des liquides oxydants (liqueur de Schultze, liqueur de Hofmeister, mélange chromique) celle que l'on obtient par l'action de la *flamme oxydante du chalumeau*. Les dangers d'une élévation brusque de température nécessite un échauffement préalable et progressif des échantillons de houille à des températures de 220° (Étuve) ou de 300° (bain de sable) suivant que l'attaque à la flamme du chalumeau a lieu aux températures du rouge ou du rouge clair.

Ces procédés employés surtout par M. M. TURNER et RANDALL dans l'étude des Anthracites ne seraient pas applicables d'après M. SEYLER aux houilles bitumineuses dont le point de ramollissement n'est pas très élevé.

Les méthodes de polissage et d'attaque des surfaces polies de houille destinées à l'examen métallographique doivent être considérées comme des applications aux dites surfaces polies des méthodes de macération ou d'incinération plus anciennement employées. Elles ne diffèrent de ces dernières que par le fait que les macérations (méthodes Wahl et Bagard, Winter, Seyler Williams, Ch. Iwasaki) ou les incinérations (Méthode Turner et Randall) ont lieu en surface et n'agissent plus dans la masse. Dans les deux cas les réactifs ou les moyens employés sont identiques et produisent sensiblement les mêmes effets.

Tous les procédés d'attaque des surfaces polies présentent à peu près les mêmes inconvé-

nients que les méthodes de macération et d'incinération, inconvénients que l'on peut résumer brièvement de la façon suivante :

A) S'il est incontestable que dans certains cas les procédés d'attaque mettent bien en évidence les contours des débris organisés de grande taille tels que les macrospores et les fragments de tissus ligneux, il n'est pas douteux que cette mise en relief ne peut avoir lieu que grâce à la destruction de la structure de la houille adjacente qui échappe ainsi à l'observation.

B) Cette destruction s'accompagne forcément d'un dépolissage de cette houille adjacente, dépolissage qui supprime *l'une des conditions essentielles à l'observation en lumière réfléchie* qui exige avant tout l'existence de bonnes surfaces réfléchissantes.

## 2° — Méthodes de simple polissage. PROCÉDÉS A. DUPARQUE [180], (1925).

Après avoir expérimenté les divers procédés d'attaque et m'être rendu compte qu'ils sont susceptibles, en plus des inconvénients précédents, de devenir les points de départ du développement de structures secondaires qui ont été parfois décrites comme structures de la roche, je me suis efforcé d'éliminer complètement de la technique de préparation des surfaces de houille ces manipulations dangereuses. C'est pourquoi j'ai été amené tout au début de mes recherches à mettre au point, au cours des années 1923 et 1924, une *méthode de simple polissage* des surfaces de houille destinées à l'examen métallographique, méthode où la sélection par dureté se trouvait substituée à toute espèce d'attaque.

Identiques quant à leurs moyens et à leur mise en œuvre aux méthodes couramment utilisées dans les laboratoires métallographiques mes procédés de préparation des surfaces polies de houille ne s'en distinguent que par un choix judicieux des produits employés et surtout par des tours de mains que je décrirai en détail dans l'un des chapitres suivants.

C'est d'une méthode quasi identique à celle que j'ai préconisée dès 1925 [180] que fait état M. E. STACH dans une publication parue en 1927 [582].

## III

### Examen par des méthodes diverses.

Les examens microscopiques par transparence ou par réflexion s'étant révélés impuissants, jusqu'à ces toutes dernières années, à résoudre le problème pétrographique des houilles, on s'est efforcé de les combiner à d'autres procédés d'investigation ou à les compléter par ces derniers. C'est pour ces raisons que l'on a abordé l'étude des houilles en lumière polarisée par les rayons X et au moyen de photographies de contact.

#### 1° — Emploi de la lumière polarisée

M. C. S. FOX seul [241 et 242] ou en collaboration avec M<sup>me</sup> M. C. STOPES [244] a utilisé la lumière polarisée dans l'étude des charbons. J'ai moi-même examiné en lumière polarisée de bonnes lames minces de houille et ai pu me convaincre que l'emploi du microscope pétro-

graphique ne présente pas d'avantages sur celui du microscope ordinaire. Il n'est pas douteux que certains constituants des houilles, notamment les macrospores, présentent entre les nicols croisés des phénomènes de polarisation et d'extinction, mais il ne s'ensuit pas forcément, comme on l'a affirmé, que ces substances sont nécessairement de nature cristalline. Il semble, en effet, prouvé aujourd'hui que l'arrangement des micelles provoque dans certains colloïdes des phénomènes du même genre.

J'ai également étudié en *lumière incidente polarisée* des surfaces polies de houille sans pouvoir observer des phénomènes suffisamment nets pour permettre de servir de base à des recherches nouvelles.

L'emploi de la lumière polarisée me paraît n'offrir, quant à présent, aucun avantage particulier dans l'étude pétrographique des charbons où il constitue plutôt une complication inutile. Cet emploi permettra peut-être d'élucider plus tard certains points de détail, mais il ne pourra être question de le faire intervenir que comme complément d'examen sérieux de lames minces ou de surfaces polies.

## 2° — Emploi des rayons X

On a à différentes reprises appliqué à l'étude des houilles et des charbons les procédés radiographiques <sup>(1)</sup>. On doit à M. C. N. KEMP une technique spéciale qui consiste à soumettre aux rayons X des tranches de charbon d'épaisseur constante que l'on peut faire varier. Ce procédé ne fournit guère d'indications que sur la répartition des substances minérales dans les houilles et a démontré l'extrême division de certaines particules minérales et leur répartition inégale dans les différents lits élémentaires des charbons. Il ne paraît guère pouvoir être employé que dans l'étude de la distribution des cendres dans les houilles, mais semble, au contraire, devoir trouver des applications pratiques dans la technique du lavage et du flottage des charbons cendreux <sup>(2)</sup>. Au point de vue purement pétrographique cet intérêt apparaît beaucoup moindre et se réduit à la question des cendres sur laquelle l'examen en surfaces polies donne déjà des indications très précises.

## 3° — Photographies de Contact

Je mentionnerai encore ici, pour mémoire, certaines tentatives faites pour étudier l'action de surfaces dressées de houille maintenues en contact dans l'obscurité avec une plaque sensible <sup>(3)</sup>.

## Conclusions du Chapitre troisième.

De ce bref exposé des méthodes d'investigation microscopique qui ont été proposées pour résoudre la question de la structure lithologique des houilles on peut tirer certaines conclusions

(1) Voir notamment les travaux de MM. C. NORMAN KEMP [361 à 363], JOHN [351 et 352], CHCZO IWASAKI [339], HENRY BRIGGS [116], MACLAREN [437], et C. MAHADEVAN [438].

(2) Voir à ce sujet MACLAREN [437].

(3) Voir à ce sujet : M. C. STOPES [608], HASLAM [301] et HASLAM et WHEELER [302].

dont quelques-unes ont une portée assez générale en ce sens qu'elles posent nettement les difficultés et la complexité du problème à résoudre.

1<sup>o</sup> La première de ces conclusions s'imposant d'elle-même est qu'alors que le pétrographe étudiant les roches cristallines ou les roches sédimentaires ordinaires avait à sa portée un petit nombre de méthodes simples et bien mises au point <sup>(1)</sup> lui permettant d'obtenir un matériel de travail abondant, celui qui il y a quelques années seulement désirait aborder, comme je l'ai fait moi-même, l'examen microscopique des houilles se trouvait obligé de choisir *entre un grand nombre de méthodes dont aucune ne s'était imposée comme étant supérieure aux autres.*

2<sup>o</sup> La deuxième conclusion est en quelque sorte le corollaire de la précédente et met en évidence les différences essentielles qui existaient à cette même époque entre les travaux incombant respectivement au pétrographe étudiant les autres roches et celui qui s'adonnait à l'examen des roches combustibles.

Alors que dans le cas des autres roches *il y a toujours possibilité* et le plus souvent *grand avantage* à confier la confection des lames minces ou des préparations à des artisans spécialisés ayant acquis, grâce à une pratique journalière, une habileté qu'il est très difficile d'égalier sans s'astreindre soi-même à un travail continu et également journalier, *il est indispensable, à mon avis*, que le pétrographe qui étudie les houilles *effectue lui-même* les préparations qu'il veut examiner.

Il n'est pas douteux que la plupart de ceux qui ont entrepris ces dernières recherches ne se sont pas astreints à ces travaux manuels en apparence fastidieux et d'intérêt secondaire prolongeant considérablement les recherches, ils ont cru pouvoir les confier à des aides plus ou moins expérimentés et leur *insuccès* ou leur *demi-succès* doit être également attribué à cette façon de procéder.

Il est indispensable, selon moi, que celui qui étudie les houilles exécute lui-même la majeure partie du travail de préparation des échantillons qu'il destine à l'examen microscopique.

En résumé, lorsque j'ai abordé en 1923 le problème de la structure microscopique des houilles aux difficultés inhérentes à toute méthode qui emploie le microscope comme instrument de travail s'ajoutaient celles de la préparation des échantillons destinés aux observations. Ce sont ces dernières difficultés que je me suis attaché à vaincre tout d'abord en cherchant à obtenir *par simple polissage* des préparations susceptibles de permettre une étude d'ensemble des houilles et des roches combustibles telle que celle qui fait l'objet du présent mémoire. C'est après y avoir réussi que j'ai préconisé le premier en 1925 la généralisation de méthodes de polissage employées depuis toujours en métallographie, mais considérées antérieurement à mes travaux comme capables seulement de fournir sporadiquement et en quelque sorte accidentellement des préparations de houilles susceptibles d'être examinées au microscope par réflexion sans aucune attaque subséquente.

(1) Est-il besoin de rappeler ici qu'en ce qui concerne les roches sédimentaires cette mise au point relativement récente est presque exclusivement l'œuvre de M. LUCIEN CAYEUX.

## CHAPITRE QUATRIÈME

### La méthode par simple polissage

#### Technique de préparation des surfaces simplement polies de houille destinées à l'examen en lumière réfléchie utilisée dans les présentes recherches

##### SOMMAIRE.

Caractéristiques d'une technique de polissage des houilles.

- I. — MODE OPÉRATOIRE. — 1° *Débitage*. — 2° *Dégrossissage*. A) Dressage. B) Finissage. — 3° *Polissage*. A) Polissage des houilles de duretés normales. B) Polissage des houilles relativement dures.
- II. — DURÉE DES OPÉRATIONS DE DÉGROSSISSAGE ET DE POLISSAGE.
- III. — LES PRINCIPALES CAUSES D'INSUCCÈS dans la préparation des surfaces simplement polies.
- IV. — OBSERVATION MICROSCOPIQUE. — Micro- et macro-photographie.

CONCLUSIONS.

Lorsque j'ai abordé en 1923, sur les conseils de M. CHARLES BARROIS, l'étude morphologique des houilles du Nord de la France le *premier problème à résoudre* était celui *du choix d'une méthode de préparation* des échantillons de charbons destinés aux examens microscopiques.

Étant donné le programme de recherches que je m'étais tracé qui devait comprendre l'étude de tous les types de houilles, si différents les uns des autres, du gisement du Nord de la France, la seule méthode susceptible de me donner satisfaction devait présenter les qualités suivantes :

1° Cette méthode devait me permettre d'obtenir des préparations microscopiques *suffisamment lisibles* pour rendre possible l'étude de la structure des houilles et de fixer cette dernière par les procédés microphotographiques de façon à supprimer ou du moins à réduire, dans la mesure du possible, la part d'interprétation hypothétique que rend forcément obligatoire l'imperfection des préparations.

2° Le procédé employé devait *pouvoir être appliqué à n'importe quel échantillon de houille* choisi en n'importe quel point convenablement repéré du gisement, le procédé en question devant être *assez général* pour permettre l'étude de toutes les variétés de charbon, des houilles les plus riches en matières volatiles aux anthracites les plus maigres et n'exiger d'autre choix que celui qui permet d'assigner aux échantillons une origine certaine.

3° La technique de préparation devait être *assez sûre et assez rapide* pour permettre d'aborder commodément dans un minimum de temps raisonnable l'étude de nombreux échantillons de houille, la multiplication des dites préparations rendant seule possible l'examen d'échantillons prélevés dans un nombre de veines de houille suffisant dans toute leur épaisseur et en différents points du gisement.

Après avoir expérimenté toutes les méthodes préconisées antérieurement à mes recherches, je me suis rendu compte *qu'aucune ne satisfaisait complètement à l'une de ces trois conditions essentielles* pour des raisons inhérentes à leur mise en œuvre qui semblent bien exclure l'idée de leur perfectibilité, tout au moins en ce qui concerne les recherches d'ordre presque exclusivement pétrographique telles que celles que je voulais entreprendre.

C'est pour cette raison que j'ai été naturellement amené à mettre au point des *procédés nouveaux de préparation par simple polissage* des surfaces de houille destinées à l'examen métallographique, procédés qui remplissent toutes les conditions que je viens d'énumérer et qui m'ont permis d'entreprendre l'étude d'ensemble des houilles du Nord de la France qui fait l'objet du présent mémoire et de publications antérieures [180 à 213<sup>me</sup>] (1).

Lorsque j'ai indiqué en 1925 que mes échantillons de houille *étaient simplement polis* (2), il m'a paru suffisant de laisser entendre que les procédés que j'utilisais alors et que je n'ai cessé d'employer depuis ne différaient en rien d'essentiel, quant aux *moyens* et à l'*appareillage*, de ceux couramment employés dans les laboratoires de recherches métallographiques ou dans les ateliers industriels de polissage (3).

La raison qui m'avait incité alors à ne pas décrire longuement *des procédés et un appareillage employés depuis longtemps* dans les domaines des polissages industriels et de Laboratoires s'appuyait sur le fait que tous ceux qui s'adonneraient au polissage des houilles devraient nécessairement se mettre d'abord au courant des connaissances et des techniques acquises dans ces domaines et expérimenter, par conséquent, les méthodes et les appareils que j'ai moi-même employés. Or on peut constater aujourd'hui :

(1) Il ne me paraît pas superflu d'insister ici sur la nature de la méthode que j'ai employée, car *des confusions se sont glissées* dans l'esprit de certains lecteurs de mes travaux antérieurs.

C'est ainsi que dans son mémoire sur la houille tertiaire de Fu Shun, M. CHOSO IWASAKI a écrit, ([339], *Techn. Rep. Tôhoku University*, VIII, n° 1, p. 108 et *Fuel*, VII, n° 3, p. 143, col. 2) : *...Duparque studied Cannel-Coal by etching it with Schulze's solution, chromic acid solution and oxygen flame*, tandis que dans son travail sur certains charbons asiatiques M. H. LEIGH FERMOR s'est exprimé de la façon suivante, ([227], *Record Géol. Surv. India*, LX, part 2, p. 341 et *Fuel*, VIII, n° 1, p. 23, col. 2) : *« Thus Duparque applying the metallographic microscope to the study of polished and etched surfaces of coals from the North of France. »*

Il est évident que des erreurs de traduction ont conduit ces auteurs à une interprétation inexacte de la nature de mes procédés, car dans mon mémoire initial ([180], p. 57 à 59) j'avais eu soin de signaler *que je proscrivais expressément tout procédé d'attaque* et que toutes les surfaces de houille que j'ai étudiées et figurées étaient *simplement polies*.

J'ai tenu à signaler dans ce mémoire les inexactitudes contenues dans ces deux phrases qui ne tendent à rien moins qu'à m'attribuer l'usage de méthodes d'investigation que je considère comme inutiles du moins dans les formes et les conditions où elles ont été utilisées jusqu'ici.

(2) Les méthodes de *simple polissage* ont fait l'objet de la part de certains auteurs (M. EVANS, SLATER et WHEELER [219], COCKRAM et WHEELER, [134], C. A. SEYLER [566], LEGRAYE [396 à 399], HSIEH [327],...) de critiques auxquelles il me paraît superflu de m'arrêter, les illustrations qui accompagnent ce mémoire leur fournissant la meilleure réponse.

C'est pour la même raison que je ne m'arrêterai pas non plus à la critique injustifiée de M. H. BODE [97], p. 90, colonne 2, note 8), qui vise, elle, toutes les méthodes d'examen par réflexion.

(3) En avril 1924 M. H. WINTER avait agi exactement comme moi lorsqu'il a écrit [692] : *« Pieces of dull and bright layers of coal were ground in the ordinary manner and polished — They were etched..... »*



1<sup>o</sup> Que les partisans des procédés d'attaque exécutent au cours du dégrossissage et du polissage des échantillons de houille les mêmes opérations que celles qui m'ont permis d'éliminer toute corrosion subséquente.

2<sup>o</sup> Que dans le choix de l'appareillage employé on remarque des divergences d'opinions qui expliquent des insuccès et certaines contradictions. C'est ainsi que je préconise l'emploi du cuir à polir alors que M. STACH <sup>(1)</sup> le prohibe complètement et lui préfère comme M. SEYLER <sup>(2)</sup> le drap de billard que j'estime, au contraire, présenter de graves inconvénients. D'autre part, au substratum élastique recommandé par M. SEYLER <sup>(2)</sup> j'ai toujours préféré le support rigide d'un disque métallique.

On peut facilement se rendre compte par ces quelques exemples choisis entre bien d'autres que l'emploi des mêmes moyens et du même appareillage ne conduit pas forcément aux mêmes résultats et que l'essence d'une technique de polissage des surfaces de houilles destinées à l'examen en lumière réfléchie comporte, comme tout travail manuel intelligemment conduit, *la mise en œuvre à tout instant de ce que l'on désigne en langage d'atelier sous le nom de "tours de mains"*.

Ce sont à vrai dire ces *tours de mains* que doit révéler toute description d'une technique de polissage des houilles et ce sont eux que je m'efforcerai de décrire en détail dans le développement qui va suivre.

Dans ce développement j'exposerai d'abord les différentes opérations et fournirai ensuite des indications sur la durée des opérations successives, l'observation microscopique des surfaces polies, leur micro et macro-photographie et je compléterai ce chapitre en passant en revue les principales causes d'insuccès qui font que beaucoup d'auteurs n'ont pas su tirer des procédés de simple polissage tous les résultats possibles.

## I

### Mode Opératoire.

La préparation d'une surface polie de houille comprend trois séries d'opérations successives que je désignerai par les termes de *Débitage*, *dégrossissage* et *polissage*.

#### 1<sup>o</sup> — Débitage

Cette opération a pour but de donner à l'échantillon des dimensions convenables et dans certains cas de déterminer la direction de la face à étudier.

Chaque fois que la chose a été possible j'ai choisi des blocs de houille résultant de fractures naturelles et pris comme faces à étudier de telles surfaces de fracture lorsqu'elles se rapprochaient

(1) Après avoir recommandé l'emploi du « Billardtuch » M. E. STACH ([584], p. 66) écrit « *Flanell oder Hirschleder sind nicht geeignet* ».

(2) M. C. A. SEYLER ([566], p. 7) s'exprime à ce sujet de la façon suivante : « *The essence of this method of polishing is to produce relief by using a thick Cloth stretched on a soft substratum such as Wood.* »

suffisamment d'un plan et que leur orientation était à peu près convenable (sensiblement parallèle ou perpendiculaire à la stratification).

Lorsqu'il m'a été impossible d'obtenir de tels blocs naturels j'ai débité des gaillettes de houille à l'aide d'une scie à métaux à denture très fine <sup>(1)</sup> et utilisé la surface plane ainsi déterminée et orientée comme face d'étude.

En règle générale, j'ai donné aux faces à étudier des longueurs de 0 m. 07 à 0 m. 10 et des largeurs de 0 m.06 à 0 m.08 de façon à obtenir des surfaces variant entre 40 et 80 cm<sup>2</sup>. Exceptionnellement j'ai confectionné des surfaces plus grandes ou plus petites que les dimensions indiquées ci-dessus. Pour les préparations plus petites provenant le plus souvent de la fracture d'échantillons plus grands, au cours des opérations de polissage ou de dégrossissage, je n'ai guère utilisé de fragments mesurant moins de 0 m.06 × 0 m.04 et présentant, par conséquent, une surface utile supérieure à 24 cm<sup>2</sup>. Par rapport aux préparations de M. STACH ces surfaces polies sont considérables, puisqu'elles sont généralement 10 à 20 fois et parfois 20 à 40 fois plus grandes <sup>(2)</sup>.

Les avantages de telles surfaces de grandes tailles sont multiples :

a) Les surfaces à étudier étant beaucoup plus grandes permettent de multiplier les observations et surtout d'étudier un grand nombre de lits élémentaires superposés.

b) Toute l'épaisseur d'une veine de houille peut être représentée par un nombre d'échantillons relativement petit, nombre variant naturellement suivant l'importance de la veine.

c) Seules de telles surfaces permettent d'étudier la disposition des débris organisés dans les couches de houille, leur distribution dans les lits élémentaires et la répartition de ces derniers, en un mot de retracer l'histoire de la formation de la partie de la couche de houille qu'elles représentent. Ces mêmes observations sont quasi impossibles sur des préparations de l'ordre de grandeur de celles de la plupart des lames minces et des surfaces polies de houille.

d) Si le dégrossissage et le polissage de grandes surfaces sont naturellement plus longs on doit considérer que finalement l'opération comporte un gain de temps appréciable puisqu'une seule préparation correspond en général à des nombres de préparations de petite taille oscillant entre 10 et 40.

e) Les grandes dimensions des échantillons facilitent leur maintien sur le disque à polir tournant mécaniquement et l'obtention de surfaces bien planes. Les petits échantillons, au contraire, donnent fréquemment au cours du dégrossissage et du polissage un arrondissement des angles et des faces courbes, la surface portante étant trop faible pour permettre d'assurer un contact constant de toutes leurs parties avec la surface du disque.

f) L'emploi de grands échantillons, dont je sacrifiais certaines parties au cours du dégrossissage ou du polissage, m'a permis de polir telles quelles des houilles très fragiles alors que M. STACH a dû recourir dans ce cas à un enrobage dans le baume qui entraîne l'encrassement du disque à polir et ne permet pas d'obtenir de polissage parfait.

Seules, à mon avis, de grandes surfaces présentant des avantages comparables, quant à leurs

(1) J'ai toujours utilisé les lames de scie destinées au sciage des métaux durs, présentant par conséquent une denture très fine et produisant un trait de scie très mince.

(2) Les préparations de M. STACH mesurent de 0,02 × 0,02 (4 cm<sup>2</sup>) à 0 m. 02 × 0,01 (2 cm<sup>2</sup>), tandis que la surface des miennes ne descend qu'accidentellement au dessous de 24 cm<sup>2</sup>.

dimensions, à ceux des grandes lames minces de LOMAX permettent d'aborder une étude pétrographique des houilles.

## 2<sup>o</sup> — Dégrossissage

Cette deuxième opération a pour but de *dresser* la face à étudier. Elle consiste à l'user avec des substances abrasives convenablement choisies.

Après de nombreuses tentatives *je me suis arrêté à une méthode de dégrossissage qui diffère des autres procédés* par sa grande simplicité *et par les résultats incontestablement meilleurs qu'elle donne dans la préparation des surfaces de houille destinées à être polies.*

### I. — MÉTHODE DE DÉGROSSISSAGE

Cette méthode consiste à n'utiliser qu'une seule poudre usante à grain très fin et à effectuer tout le dégrossissage à la main sur deux plaques de verre.

La poudre usante employée est celle que l'on trouve couramment dans le commerce sous le nom de *potée d'émeri* et est constituée par une poussière quasi impalpable de cette substance abrasive.

Le dégrossissage à la main lorsqu'il est convenablement conduit permet seul d'éviter la prédominance des stries dans une ou plusieurs directions et l'obtention de surfaces présentant les qualités requises pour pouvoir subir avec succès les opérations de polissage.

Pour ce travail qui comprend deux opérations successives *tout l'appareillage* consiste en deux plaques de verre épais (glace) mesurant 0 m. 40 × 0 m. 40 environ.

### A. — 1<sup>re</sup> OPÉRATION. — DRESSAGE.

Les surfaces naturelles ou artificielles obtenues par débitage *sont usées à la main sur une première plaque de verre* garnie d'une bouillie de potée d'émeri. Cette bouillie est renouvelée constamment au cours de cette première opération de façon à permettre une usure relativement rapide de l'échantillon. Le dressage est terminé lorsque les faces naturelles ont perdu toute concavité. Pour les faces artificielles il y a lieu d'user de cette manière une assez forte épaisseur (0<sup>m</sup>, 005 en moyenne), de façon à éliminer la zone d'ébranlement du trait de scie.

Le dressage a donc pour but essentiel de faire naître une *face bien plane* dans une région saine de l'échantillon à étudier.

C'est également au cours de cette opération *que l'on corrige*, en imprimant au dit échantillon une inclinaison convenable, la direction de la face naturelle ou artificielle par rapport au plan de stratification du fragment de houille ou de roche combustible auquel la section doit toujours être perpendiculaire ou parallèle.

### B. — 2<sup>e</sup> OPÉRATION. — FINISSAGE DES SURFACES PLANES.

Cette manipulation a pour but essentiel de *déterminer une sélection par dureté* des différents constituants de la roche combustible. *Ce n'est pas un polissage, mais un prélude indispensable au polissage. C'est elle qui rend possible l'obtention de surfaces polies révélant pleinement la structure des roches combustibles et qui acquiert de ce fait une importance capitale.* Elle représente la phase décisive de la préparation d'un échantillon de houille destinée à l'examen par réflexion.

en mordant et permettant d'éliminer les stries que le dressage aurait laissé subsister. L'opération se poursuit *en ajoutant simplement de l'eau à cette boue fluide* de sorte qu'elle se termine en réalité avec une *boue où domine nettement les particules de charbon désagrégé*.

Au cours des derniers stades du finissage la surface de houille est donc usée *par sa substance* usure qui, lorsqu'elle est convenablement menée, *sélectionne par dureté tous les débris* et les ayant conservé dans la roche leur individualité propre et les met en évidence.

La surface ainsi dégrossie *doit être exempte de toutes stries et de traces de polissage* et présenter *un aspect uniformément mat*. La stratification de la roche y est en général très apparente et à l'œil quelque peu exercé est capable d'y distinguer les caractères généraux du combustible.

Ces deux opérations élémentaires du dégrossissage (dressage et finissage) sont réalisées à l'aide de l'échantillon dont la surface est maintenue bien en contact avec la plaque de verre. L'opérateur soucieux de ne pas mettre hors d'usage les dites plaques de verre doit veiller à leur assurer une usure égale en traçant judicieusement ces courbes sur toute leur étendue. Pour éviter la production de stries, qui en se développant dans un seul sens sont plus profondes et plus visibles, l'échantillon de roche combustible doit être tourné sur lui-même à intervalles sensiblement réguliers afin de croiser les stries et de les éliminer mutuellement au cours des deux opérations successives. Faut-il dire que si l'on ne se conforme à cette dernière règle on risque d'obtenir des surfaces rayées qui ne répondent jamais au but envisagé et compromettent le polissage ultérieur. Le défaut de traçage des courbes en spirales que l'on fait décrire aux échantillons entraîne une usure inégale des plaques de verre qui se creusent, de sorte que les surfaces de combustible finalement obtenues *ne sont plus planes, mais convexes* ce qui gêne également les opérations ultérieures. Le principal défaut à éviter au cours du dégrossissage est l'apparition d'un poli spéculaire qui non seulement masque toute structure, mais encore ne permet plus de mettre en évidence les structures par le polissage proprement dit.

En résumé, pour que le dégrossissage puisse être considéré comme utilement terminé les surfaces obtenues *uniformément mates*, exemptes de traces de polissage et de stries visibles à l'œil nu peuvent montrer dans ces conditions la *structure générale de la roche combustible*.

#### AVANTAGES DE CETTE MÉTHODE DE DÉGROSSISSAGE. — INCONVÉNIENTS DES AUTRES MÉTHODES.

Les opérations de dégrossissage telles que je viens de les décrire constituent les phases essentielles de la préparation d'une surface de houille qui, si le polissage subséquent n'est pas soigneusement mené, doit révéler sans attaque sa structure microscopique.

Après avoir expérimenté tous les moyens en usage je puis affirmer que ces procédés *ont des avantages, tandis que les méthodes utilisées ailleurs dans des buts similaires ont, au contraire, de graves inconvénients*.

Je vais maintenant examiner successivement les avantages et les raisons qui m'ont fait préférer l'usage de la poudre usante et le dégrossissage à la main au dégrossissage mécanique.

## A) — AVANTAGE DE L'UTILISATION D'UNE SEULE POUDRE USANTE.

*A priori* l'on sera toujours tenté de considérer comme avantageux l'emploi successif de poudres usantes de grains de grosseurs décroissantes dans le dégrossissage des surfaces de houilles et de roches similaires, les poudres à grains grossiers permettant une usure rapide et les rayures d'une poudre quelconque devant forcément disparaître par action de la poudre suivante.

Ces vues théoriques ne sont que partiellement vraies en ce qui concerne le polissage industriel des métaux et se révèlent entièrement fausses dans celui des houilles et des lignites.

Les roches combustibles de duretés assez faibles sont rayées énergiquement par les poudres à gros grains qui y déterminent des stries qu'il est souvent fort difficile de faire disparaître par la suite à l'aide de poudres à grains plus fins. Si ces dernières usent les surfaces planes qui séparent les rayures profondes elles pénètrent également dans ces rayures et tendent à les approfondir. Même en croisant les traits il subsiste presque toujours des stries que l'on cherche à éliminer par polissage. Ce dernier étant alors mené vigoureusement pour entraîner l'usure nécessaire à l'enlèvement des dites stries fait naître le plus souvent un poli spéculaire qui provoque la disparition de toute structure ou atténue considérablement la visibilité de ces structures. Presque toujours lorsque l'on a la malchance d'obtenir un tel poli spéculaire il est préférable de recommencer complètement la préparation en faisant disparaître par dégrossissage ce malencontreux poli.

En résumé, en ce qui concerne les roches combustibles, l'élimination des stries d'une poudre grossière par une ou plusieurs poudres plus fines est une opération délicate et difficile qui aboutit presque toujours au résultat désastreux de l'obtention d'un poli spéculaire masquant plus ou moins complètement la structure que l'on veut mettre en évidence. On enregistre alors un insuccès total qui légitime dans certains cas l'emploi d'un procédé d'attaque et qui conduit naturellement l'observateur averti à recommencer toutes les opérations qu'il avait voulu écourter. Dans tous les cas l'effet réel de l'emploi de plusieurs poudres est donc de compliquer les manipulations en nécessitant d'autres opérations (attaques) ou en obligeant à recommencer les premières (dégrossissage et polissage). Le résultat est exactement inverse de celui théoriquement escompté puisqu'il se traduit finalement par une perte de temps.

## B) AVANTAGE DU DÉGROSSISSAGE A LA MAIN.

Dans le but éminemment louable de gagner du temps beaucoup ont été tentés de substituer au dégrossissage à la main une usure plus rapide sur des disques tournant mécaniquement à des vitesses variables, la vitesse d'une machine étant considérée bien à tort, par certains, comme synonyme de son grand rendement et de la rapidité du travail qu'elle exécute.

L'expérience m'a montré qu'en dépit des apparences le dégrossissage à la main est le plus rapide et surtout le plus sûr de tous, car il conduit toujours au succès. L'emploi des disques tournants dans le dégrossissage ne présente aucun avantage réel et ne comporte au contraire que des inconvénients multiples. J'examinerai successivement les dangers que présentent les disques métalliques et des disques en bois garnis de papier d'émeri.

## a) Inconvénients des disques métalliques.

Ces disques sont le plus souvent en fonte, en fer (STACH), en acier et plus rarement en

*laiton* ou en *cuivre rouge*. On les garnit de bouillies aqueuses de poudres abrasives que l'on renouvelle au cours de la rotation. La surface de l'échantillon est maintenue à leur contact par la pression de la main de l'opérateur qui imprime au dit échantillon des mouvements de rotation et de déplacement en spirales.

Au début de mes recherches j'ai beaucoup utilisé ce moyen qui présente les inconvénients suivants :

1<sup>o</sup> Une poudre fine qui donne à la main de bons résultats produit sur le disque tournant des rayures circulaires difficiles à faire disparaître par la suite.

2<sup>o</sup> Il est quasi impossible d'éviter à certains moments l'adhérence du disque et de l'échantillon et des secousses plus ou moins violentes préjudiciables à la solidité de ce dernier qui se trouve alors fragmenté et parfois réduit en miettes. Pour y remédier, certains auteurs ont alors recours à une cuisson dans le Baume destinée à consolider les fragments de houille ou de lignite, *cuisson qui est une opération inutile et même nuisible que j'ai pu éviter grâce à mon procédé de dégrossissage.*

3<sup>o</sup> Si l'on n'y prend garde le disque métallique insuffisamment garni d'eau et de bouillie abrasive *lustre* les surfaces de roches combustibles et leur donne un *poli spéculaire* tenace qui masque la structure réelle.

4<sup>o</sup> Le disque métallique tournant ne peut être utilisé que garni d'une bouillie abrasive que la force centrifuge fait disparaître rapidement et qui doit par conséquent être renouvelée constamment. Il en résulte une consommation excessive, inutile et parfois gênante de poudre usante.

En résumé, l'emploi des disques métalliques dans les opérations de dégrossissage risque toujours de *compromettre la solidité des échantillons, il ne permet pas le finissage* des surfaces planes destinées à être polies et *n'est qu'un prélude inutile* du dressage et du finissage sur la plaque de verre auxquels il ne peut être substitué.

### *β) Inconvénients des disques en bois garnis de papier émeri.*

L'emploi de ces disques, utilisés par M. SEYLER, doit être systématiquement écarté, *ce moyen étant le plus propre à faire naître un poli spéculaire qui compromet irrémédiablement le succès de la préparation en tant que surface polie.* On est alors obligé, comme le fait cet auteur, de recourir aux procédés désastreux de l'attaque qui détruisent plus de structures qu'ils n'en révèlent.

Actuellement, la méthode de dégrossissage à l'aide d'une seule poudre usante, comportant uniquement l'usure à la main des échantillons sur des plaques de verre fixes doit être préférée à tous les moyens préconisés par les autres auteurs, car :

1<sup>o</sup> Si elle comporte des opérations un peu plus longues que les autres, elle fait finalement gagner un temps énorme puisqu'elle conduit à coup sûr au succès.

2<sup>o</sup> Elle permet, grâce à une sélection par dureté, de mettre en évidence les plus petits débris organisés des houilles, cette sélection s'obtenant par l'action de la substance même de ces houilles beaucoup mieux que par aucun autre produit à polir.

3<sup>o</sup> Elle rend possible, sans aucune inclusion ou consolidation préalable, la préparation des houilles les plus fragiles et leur polissage subséquent.

4<sup>o</sup> Si elle impose à l'opérateur un travail à la main assez long elle lui évite les désagréments

du dégrossissage à la machine qui, étant données les vibrations et les secousses imprimées à l'échantillon et à la main qui le tient, devient rapidement très pénible.

Seule cette méthode de dégrossissage permet actuellement d'obtenir, à mon avis, des surfaces de houille révélant entièrement par simple polissage leur structure microscopique et présentant un relief assez faible pour être commodément observées et photographiées.

### 3<sup>o</sup> — Polissage

Dans ma technique de préparation des surfaces polies de houilles ou de roches similaires la mise en évidence de la structure de la roche est réalisée à la fin du dégrossissage par *usure sélective* obtenue surtout par l'action de la substance charbonneuse elle-même ; substance provenant de la désagrégation de l'échantillon traité. Cette usure sélective qui révèle l'hétérogénéité de la roche peut être obtenue par d'autres moyens, en particulier par polissage à l'aide d'alumine ou de substances similaires <sup>(1)</sup>.

C'est surtout à la mise au point de cette technique de dégrossissage que je dois d'avoir pu préparer, à partir d'échantillons de houille d'origine soigneusement repérée, mais n'ayant fait l'objet d'aucune sélection particulière, les nombreuses surfaces polies de houille qui m'ont permis pour la première fois d'aborder l'étude de l'ensemble des charbons d'un même gisement, les qualités des dites préparations étant attestées par les nombreuses microphotographies de cet ouvrage ou par celles qui figurent dans mes travaux antérieurs [180 à 213<sup>ter</sup>].

C'est, à mon avis, grâce à l'usure sélective par la substance même de chaque échantillon, réalisant dans chaque cas particulier les meilleures conditions permettant de mettre en évidence les détails les plus ténus et les plus délicats tels que les lambeaux de cellules ligneuses, les microspores et les lambeaux de microspores, que j'ai mené à bien une tâche que tous les auteurs qui ont recours aux procédés d'attaque ont déclarée impossible <sup>(2)</sup> en considérant leurs insuccès personnels comme des preuves de cette impossibilité.

J'ai insisté sur ce fait que les dernières opérations du dégrossissage (*finissage*) ne devaient provoquer à la surface de l'échantillon aucun poli et aboutir à l'obtention d'une face uniformément mate où les détails de structure se trouvent en quelque sorte sculptés très superficiellement et très légèrement, si légèrement que l'on doit considérer comme impropre l'expression de mise en relief, le relief souhaitable devant être à peu près nul.

De telles surfaces mates montrent bien à l'œil nu ou à la loupe des détails de structure qu'un observateur averti reconnaît facilement, mais ne se prêtent en aucune façon à l'examen au microscope métallographique ; l'une des conditions nécessaires à cet examen, l'existence d'une surface polie capable de réfléchir la lumière incidente n'étant pas réalisée.

Dans le procédé de préparation des échantillons de houille que j'ai employé le polissage a simplement pour but de faire naître cette surface polie réfléchissante capable de permettre l'examen microscopique en lumière incidente.

(1) C'est l'usure sélective par polissage qui a été employée par M. STACH et sporadiquement par MM. SEYLER, IWA-SAKI, etc...

(2) Voir en particulier l'opinion de MM. WAHL et BAGARD qui écrivaient en 1913 ([664], p. 380) : « Le simple polissage ou le polissage en bas relief n'a pas donné d'indication précise, il était nécessaire de trouver un réactif permettant d'attaquer la surface afin de faire apparaître des différences de structure. »

L'expérience montre que ce polissage des surfaces dégrossies de houille présente certaines difficultés qui expliquent les insuccès rencontrés par beaucoup de chercheurs dans la confection de telles surfaces.

Ces difficultés se traduisent par les résultats suivants *qui conduisent tous à la réalisation de surfaces polies impropres à l'examen microscopique*.

a) Le *polissage brutal* employé inconsidérément aboutit le plus souvent à une *uniformisation* de la surface qui acquiert un *poli spéculaire* ne permettant plus d'observer que quelques détails de structure qui tendent eux-mêmes à s'effacer.

b) Ce *même polissage* peut provoquer dans certains cas à la surface de l'échantillon l'*apparition de stries* et de *rayures* qui masquent complètement la structure vraie de la roche.

c) Au *cours du polissage* il peut se déposer à la surface de l'échantillon une *pellicule* ou *film* de crasse ou d'impureté qui en se superposant à la structure vraie ou en la masquant complètement rend impossible toute observation microscopique sérieuse <sup>(1)</sup>.

*En résumé, le polissage mal conduit est capable, pour les raisons que je viens d'énumérer, de faire disparaître partiellement et complètement la structure microscopique de la roche combustible en provoquant un poli spéculaire ou en déterminant la formation d'une pellicule de crasse.*

*Le polissage correct doit donc provoquer l'apparition simultanée de surfaces polies réfléchissantes sur toutes les parties sélectionnées par dureté sans atténuer cette sélection et doit être lui-même sélectif.*

Les conditions du polissage varient constamment, sinon suivant chaque échantillon, du moins suivant chaque type d'échantillon, les moyens employés devant être assez souples pour pouvoir s'adapter à tous les cas particuliers.

La méthode que j'ai utilisée pour le dégrossissage sélectif (usure par la substance même de l'échantillon) ne donne, en ce qui concerne le polissage, que des résultats médiocres et souvent négatifs ; le *polissage sans produit à polir* sur le *disque de cuir ou de drap, sec ou arrosé d'eau* ne conduisant pas le plus souvent à des résultats satisfaisants.

J'ai été amené à mettre au point deux procédés de polissage s'appliquant respectivement aux houilles de dureté normale et aux houilles de dureté relativement élevée telles que les anthracites.

#### A. — POLISSAGE DES HOUILLES DE DURETÉ NORMALE ET DES COMBUSTIBLES SIMILAIRES.

Ce procédé est celui qu'il convient d'appliquer aux houilles proprement dites à l'exclusion des anthracites et de certaines houilles anthraciteuses. Il donne également de bons résultats avec les Cannel-Coals, les Bogheads et les lignites d'âges secondaire et tertiaire.

Le *produit à polir* employé est l'*alumine précipitée* que l'on livre dans le commerce en suspension dans des eaux diversement colorées correspondant respectivement à la finesse plus ou moins grande des grains d'alumine.

L'Alumine n° 1 (liquide de suspension bleu) possède le grain le plus gros.

L'Alumine n° 2 (liquide de suspension incolore) présente un grain plus fin.

(1) Il semble infiniment probable que dans bien des cas les *soi-disant procédés d'attaque* réalisent surtout un *simple nettoyage des surfaces polies encrassées* que leurs auteurs considèrent comme *attaquées*, mais qui sont en réalité *simplement polies*. Il en serait ainsi pour les procédés d'attaque très mitigés de MM. SEYLER et IWASAKI.



L'Alumine n° 3 (liquide de suspension rose) a un grain encore plus fin et est obtenue par une précipitation plus lente que l'Alumine n° 2 obtenue elle-même par précipitation plus lente que l'Alumine n° 1.

Je n'ai utilisé dans le polissage des houilles que les *alumine* n° 2 et 3 employées successivement sur deux disques différents. L'usage d'alumine n° 2 sur un seul disque suffit dans certains cas.

Le *disque à polir* joue dans les opérations de polissage le rôle *primordial* et permet dans le procédé que j'ai imaginé d'obtenir des dispositifs d'usure ou *meules* d'élasticités variant, en quelque sorte, à l'infini *et de déterminer sur des houilles de dureté variant également à l'infini le poli convenable qui respecte les détails de structure de la roche.*

Tous les disques que j'ai employés sont des *disques métalliques garnis du cuir à polir* que l'on trouve couramment dans le commerce sous le nom de *buffle* <sup>(1)</sup>. Un tel disque permet de faire varier presque à l'infini la *rigidité* de la substance qui reçoit par pulvérisation le liquide tenant en suspension l'alumine précipitée et contre laquelle est pressée la surface de houille à polir.

Pour modifier la *nature du contact* de l'échantillon à polir et du disque garni de cuir, *nature qui décide du succès ou de l'insuccès des opérations de polissage*, j'ai procédé de la façon suivante :

a) J'ai disposé ma machine à polir de façon à pouvoir *modifier la vitesse de rotation de l'arbre* et à obtenir toute une *gamme de vitesses* variant dans de grandes proportions. Une augmentation de vitesse assure une plus grande rigidité du cuir tandis qu'inversement une diminution de vitesse atténue cette rigidité.

b) Mon *pulvérisateur d'alumine* comprend un dispositif permettant d'*interrompre, d'accroître* ou de *diminuer* le jet de bouillie dirigé sur le disque à polir, le *mouillage* du cuir de ce disque peut être considérablement modifié de sorte que l'élasticité du dit cuir devient elle-même très variable.

c) La *pression de la surface à polir* contre le cuir du disque, qui est réalisée à la main, peut elle-même être modifiée dans une assez large mesure, ce qui permet également de faire varier la nature du contact de ladite surface et du cuir qui sert de support aux grains d'alumine précipitée.

*C'est en faisant varier graduellement ces trois facteurs que je suis arrivé, sans aucun insuccès jusqu'ici, à polir convenablement tous les échantillons de houilles ou de roches combustibles* à la seule exception des variétés de lignites terreux qui ne se prêtent en aucune façon au polissage.

Dans ce domaine le débutant doit forcément procéder d'abord par tâtonnement en observant constamment au microscope les progrès de l'opération qui peuvent être positifs ou négatifs suivant que la manipulation s'effectue dans de bonnes ou dans de mauvaises conditions. Grâce à l'expérience acquise ces tâtonnements deviennent de moins en moins nombreux au fur et à mesure que l'on se perfectionne par la pratique dans le polissage des houilles.

## B. — POLISSAGE DES HOUILLES RELATIVEMENT DURES.

Ces houilles qui comprennent surtout les *anthracites*, les *houilles anthraciteuses* et les *houilles*

(1) La fabrication du *cuir à polir* ou *buffle* utilisé aussi en sellerie est une spécialité qui tient une place importante dans l'industrie de la tannerie de la région lilloise.

*maigres* peuvent être polies par le procédé précédent (A) qui, dans ce cas, offre l'inconvénient d'être assez long.

Je suis arrivé beaucoup plus rapidement au même but en substituant à l'alumine précipitée un *brillant à métaux* du commerce, produit liquide à base d'essence minérale et de tripoli. La surface dégrossie enduite de cette substance est polie sur un disque de cuir collé sur un plateau métallique. La *quantité de produit à polir* et la *vitesse de rotation du disque* sont avec la *pression* de l'échantillon sur le disque trois facteurs variables qui permettent d'arriver très rapidement au but envisagé.

Cette méthode présente dans ce cas sur le procédé à l'alumine le double avantage de la *rapidité du travail* et de la *modicité du prix* du produit à polir. Une section de grande taille peut être polie en quelques minutes. Les brillants à métaux sont des produits bon marché tandis que les aluminés n<sup>o</sup> 2 et 3 sont de prix relativement élevés. Malheureusement cette deuxième méthode (B) ne semble pas pouvoir donner de bons résultats en ce qui concerne les houilles proprement dites.

Les opérations de polissage sont toujours délicates et supposent une *observation microscopique de tous les instants*. C'est dire qu'elles ne peuvent être confiées qu'à un aide expérimenté et qu'il est même souhaitable qu'elles soient exécutées par le micrographe lui-même.

## II

### Durée des opérations de dégrossissage et de polissage.

Pour la préparation de ses petites surfaces polies (2 à 4 cm<sup>2</sup>) M. STACH a indiqué qu'elles pouvaient facilement être terminées en 15 minutes. Je suis pleinement d'accord avec cet auteur quant à la rapidité d'exécution de préparations aussi réduites, mais en ce qui concerne les préparations dont les surfaces sont normalement 20 à 40 fois plus grandes il m'est quasi impossible de donner un chiffre précis représentant la durée des opérations successives. Cette durée varie en effet.

1<sup>o</sup> *En raison inverse de la surface de l'échantillon*, une grande surface entraînant forcément des opérations de dégrossissage et de polissage plus longues qu'une surface plus petite.

2<sup>o</sup> *En raison directe de la dureté des échantillons*, une grande dureté nécessitant un dégrossissage plus prolongé.

3<sup>o</sup> *Suivant la méthode de polissage employée*, le polissage à l'alumine étant beaucoup plus lent que celui au brillant à métaux ou, ce qui revient au même, suivant la nature du charbon ou de la roche combustible puisque chacune de ces méthodes s'applique respectivement à des catégories bien définies de roches.

4<sup>o</sup> *Suivant des facteurs qui, à l'inverse des précédents, ne peuvent être prévus* parce qu'ils résultent de *fausses manœuvres involontaires* au cours des opérations de polissages. L'*encrassement* de la surface ou l'apparition d'un *poli spéculaire*, qui sont les accidents les plus fréquents qu'il est dans certains cas difficile d'éviter, obligent à recommencer partiellement ou complètement les opérations successives dont la durée se trouve alors doublée, triplée et parfois multipliée par un nombre bien supérieur à trois.

Dans ces conditions, il est quasi impossible d'assigner une durée normale à l'ensemble des opérations de débitage, de dégrossissage et de polissage. Pour de grandes surfaces on peut néanmoins admettre des durées oscillant entre 30 et 60 minutes. *Etant donné que ces surfaces sont relativement grandes ce procédé semble bien être le plus rapide qui soit actuellement en usage.*

### III

#### **Les principales causes d'insuccès dans la préparation de surfaces de houille simplement polies.**

La grande majorité de ceux qui ont appliqué la méthode métallographique à l'étude des charbons et des roches similaires *ont déclaré que le simple polissage est incapable de mettre en évidence la totalité de la structure microscopique des charbons* et ont cru par là légitimer l'emploi des procédés d'attaque. C'est cette opinion qui a été souvent émise dans de nombreuses publications d'importances fort diverses, mais dont aucune n'a apporté de conclusions pétrographiques généralisables, notamment dans celles de MM. SEYLER, TURNER et RANDALL, EVANS SLATER et WHEELER, COCKRAM et WHEELER, LEGRAYE, H. BODE, etc..., où elle a été parfois le point de départ d'erreurs d'observation que j'aurai occasion de signaler dans le cours de ce mémoire.

Or, de la comparaison des figures publiées par ces différents auteurs et de celles que j'ai publiées moi-même il résulte que :

1<sup>o</sup> En utilisant les procédés soi-disant recommandables de l'attaque *ces auteurs n'ont pas pu mettre en évidence toutes les structures que j'ai pu montrer par simple polissage.*

2<sup>o</sup> Au contraire, *j'ai pu observer sur des surfaces simplement polies des détails de structure que ces mêmes auteurs prétendent n'avoir pu obtenir que par l'attaque, caractère qui démontre bien l'inutilité de cette dernière dans sa forme actuelle.*

3<sup>o</sup> *Mes surfaces simplement polies permettent d'employer efficacement des grossissements bien supérieurs à ceux utilisés par les divers auteurs dans l'examen des surfaces attaquées.*

4<sup>o</sup> *Tous ces auteurs qui n'ont pas réussi à obtenir de bonnes préparations par simple polissage ont accompli ou fait accomplir, au cours de la confection des surfaces destinées à l'attaque, exactement les mêmes opérations qui m'ont conduit au succès.*

Les faits 1<sup>o</sup> à 3<sup>o</sup> démontrent les avantages de ma méthode qui se trouvent suffisamment prouvés par les planches de ce mémoire ou de mes monographies précédentes pour qu'il soit nécessaire de les rappeler ici où je tiens seulement à signaler les principales causes d'insuccès dans la préparation des surfaces simplement polies en montrant que les complications inutiles des méthodes de polissage des auteurs cités précédemment suffisent dans bien des cas pour expliquer qu'ils n'ont jamais obtenu de bonnes préparations polies, circonstance qui les a contraints à recourir à l'attaque pour tirer quelque profit des surfaces imparfaitement polies.

J'ai dit antérieurement, mais je ne crois pas inutile de le répéter ici, que les principales causes d'insuccès dans la préparation des surfaces polies sont l'obtention d'un *poli spéculaire*, l'encrassement de la surface polie, le développement de *rayures* sur cette même surface et l'*exagération du relief*.

### A. — Poli spéculaire

L'apparition de ce poli spéculaire est l'une des principales causes d'insuccès dans la préparation des surfaces de houille, car lorsqu'il s'est manifesté il est rare que la face puisse être sauvée sans qu'il soit nécessaire de reprendre toutes les opérations presque à leur début en dépolissant la dite face. *Or, ce poli spéculaire se produit d'autant mieux que c'est vers lui que tendent précisément les opérations normales de polissage, le polissage industriel n'ayant d'autre but que de le faire naître.*

J'ai indiqué précédemment par quel procédé j'ai réussi à l'éliminer et ne parlerai ici que des *moyens propres à faciliter son développement*, moyens qu'il convient d'écarter si l'on veut obtenir de bonnes surfaces polies.

Tous les procédés de polissage employés par les auteurs qui ont préconisé l'attaque comportent des opérations susceptibles de faciliter le développement des polis spéculaires.

Les *papiers d'émeri fins* (n° 0, 00, 000 et 0000) utilisés par M. SEYLER ne sont déjà plus des produits à dégrossir, mais des produits à polir. Le contact de la surface à polir et de ces papiers est toujours assez rude, le papier qui sert de support à la poudre abrasive, qui est du reste plutôt un carton faible, étant assez rigide. Au cours du polissage ces papiers émeri se lustrent facilement et déterminent presque toujours à la surface de l'échantillon un *poli spéculaire* qui masque tout ou partie de la structure. L'emploi de ces papiers doit être complètement prohibé, leur usage ne présentant aucun avantage et n'offrant guère que des inconvénients.

La *Pierre à rasoir* employée à sec et la *plaque de verre* (substratum rigide) garnie d'oxyde jaune de chrome précipité ou de rouge d'Angleterre en suspension dans l'eau préconisées par M. THIESSEN [645] présentent à un degré supérieur les mêmes inconvénients que les papiers d'émeri.

De même, la *Pierre à rasoir* garnie d'une pâte aqueuse de rouge d'Angleterre proposée par MM. TURNER et RANDALL n'est pas à conseiller surtout lorsque, comme le préconisent ces auteurs [657], on termine l'opération quand la pâte est pratiquement sèche.

Le *disque métallique à dégrossir* entraîné mécaniquement peut lui aussi déterminer un poli spéculaire surtout lorsque la bouillie d'émeri et d'eau sèche sur le disque faute d'un arrosage suffisant. La surface à dresser prend alors un certain lustre que l'on peut, à première vue, être tenté de considérer comme un succès, mais qui est en réalité le signe certain que la préparation est à recommencer.

Tels sont les principaux procédés qui conduisent presque fatalement au poli spéculaire et que l'on a intérêt à bannir complètement de la technique. *Dans tous les cas étudiés le résultat néfaste obtenu semble lié à la présence d'un support trop rigide qui n'assure pas au contact de l'échantillon et de l'abrasif toute la souplesse voulue.*

### B. — Encrassage des surfaces polies

L'apparition du poli spéculaire marque une *disparition* des détails de structure qui a pu faire croire bien à tort à certains auteurs qu'il était impossible de déceler tous les débris orga-

nisés de la houille par simple polissage. *L'encrassage* des surfaces polies est un autre accident de polissage dont les conséquences ont conduit aux mêmes conclusions également erronées.

Cet accident consiste en un dépôt à la surface de l'échantillon d'une mince pellicule ou film de substances étrangères capables de masquer partiellement ou incomplètement la structure réelle de la roche. Lorsque ce film est suffisamment épais on ne distingue plus au microscope qu'une surface chagrinée, polymorphe, représentant l'aspect propre de la crasse qui doit être considérée comme formée de particules solides d'origines très diverses. Cette crasse est en effet un mélange de la substance même de l'échantillon, du produit à polir et de débris du disque à polir (menus fragments de cuir, de drap, de feutre, etc). Dans ce cas il n'y a guère lieu de craindre une confusion entre la structure du charbon et celle des corps étrangers étendus à sa surface. Ce danger existe, au contraire, lorsque cette pellicule ou ce film est assez mince pour permettre d'observer encore une partie de la structure de la roche qui est alors plus ou moins déformée par la présence de ces impuretés.

La plupart des préparations simplement polies que M. SEYLER a cru devoir attaquer ultérieurement sont des surfaces partiellement ou complètement encrassées. <sup>(1)</sup> Ce même défaut peut encore s'observer sur certaines figures de M. STACH <sup>(2)</sup>, et surtout parmi celles publiées par M. HSIEH <sup>(3)</sup>.

Dans certains cas cette crasse résiste même à l'attaque et peut être disposée en bandes parallèles simulant des rayures <sup>(4)</sup> ou des taches irrégulières <sup>(5)</sup>.

Cet encrassage est dû le plus souvent à la *malpropreté du disque à polir* qu'il convient de nettoyer et de changer en temps utile. Il est naturellement *beaucoup plus fréquent* lorsque l'on emploie des disques garnis de drap, de flanelle ou de feutre que lorsque l'on fait usage de cuir à polir, cette dernière substance se désagrégant beaucoup moins vite que les premières.

Les encrassages des surfaces polies sont susceptibles de disparaître lorsque celles-ci sont soumises à des nettoyages convenables qui permettent alors d'observer la structure véritable de la roche combustible. Il est infiniment probable que les attaques qui revêtent un caractère bénin et en particulier celles qui ont une durée extrêmement courte (SEYLER [566], IWASAKI [339]) constituent dans bien des cas de simples nettoyages capables d'enlever par dissolution ou par mise en suspension des particules d'impureté qui souillent les surfaces de charbon ou qui remplissent certaines cavités telles que celles du bois. Je suis personnellement persuadé que ces deux auteurs ont observé et photographié de nombreuses surfaces simplement polies où les réactifs d'attaques n'ont joué aucun rôle sélectif, mais ont simplement fait disparaître les enduits d'impuretés qui masquaient la structure.

(1) Il en était déjà ainsi pour certaines préparations figurées dans la note initiale de M. SEYLER, [562], p. 217, Fig. 5, 6 et 7), il en est de même pour un plus grand nombre parues dans son dernier mémoire (The microscopical examination of Coal) [566].

(2) E. STACH [584], Figures 61 et 62, p. 165.

(3) C. Y. HSIEH [326]. Les figures dont l'encrassage est particulièrement net sont les suivantes : Fig. 1, 3, 4 (Pl. I), 5 (Pl. II), 17, 18 (Pl. V).

Ce mémoire a été publié une deuxième fois dans *Fuel*, Vol. IX, 1930, n° 1, p. 4 à 19, 25 figures avec les mêmes figures. Les figures incriminées précédemment y portent les mêmes numéros d'ordre (Fig. 1, 3, 4, 5, 17, 18).

(4) C. A. SEYLER [566]. Voir les Figures 38 et 39 (Pl. VIII).

(5) C. A. SEYLER. — [566], Figures 40, 42 et 43, (Pl. VIII).

### C. — Production de rayures au cours du polissage

La présence de rayures est toujours une gêne pour l'observation des surfaces polies attaquées ou non. Lorsque ces rayures sont nombreuses et se croisent irrégulièrement la structure réelle de la roche peut même être presque complètement masquée. L'on doit donc s'efforcer d'éliminer, dans la mesure du possible, les stries de dégrossissage et de polissage et l'on est en droit de s'étonner que M. M. TURNER et RANDALL aient cru pouvoir écrire que : *les surfaces polies obtenues par le moyen indiqué, bien qu'incomplètement exemptes de rayures, suffisent pour obtenir de bons résultats* <sup>(1)</sup>. J'estime, au contraire, qu'aussi bien au cours du dégrossissage que du polissage *les efforts de l'opérateur doivent toujours tendre vers l'élimination des stries* qui, si elles ne peuvent pas toujours être complètement évitées, doivent du moins être aussi peu nombreuses et aussi peu profondes que possible.

Je donnerai donc ici les résultats de mes expériences de polissage en indiquant les moyens les plus propres à produire les rayures, moyens qu'il convient donc de bannir de tout procédé rationnel de préparation des surfaces de houille destinées à l'examen en lumière réfléchie.

La  *Pierre à rasoir*  employée à sec, soit sans abrasif (THIESSEN) ou avec du rouge d'Angleterre, sans eau (TURNER et RANDALL), constitue l'un des moyens les plus propres à faire naître des rayures au cours des opérations de polissage. La  *Pierre à rasoir*  garnie d'une bouillie aqueuse de rouge d'Angleterre (TURNER et RANDALL) ou la  *plaque de verre*  garnie de rouge ou d'oxyde de chrome en suspension dans l'eau donnent également des résultats identiques et partant très médiocres.

Les papiers d'émeri à grains fins (SEYLER) sont également propres à entraîner la formation de rayures très difficiles à éliminer par la suite.

L'emploi successif de différentes poudres d'émeri ou de carborundum (STACH) n'est pas non plus recommandable lorsqu'il s'agit de préparations d'assez grandes surfaces, les rayures des poudres grossières pouvant être très difficiles à faire disparaître.

Tels sont les procédés capables de déterminer l'apparition de stries plus ou moins persistantes, soit au cours du dégrossissage, soit au cours du polissage ; procédés que l'on doit considérer comme néfastes et  *qui peuvent avantageusement être remplacés par des méthodes beaucoup plus simples, plus rapides et plus sûres*  que j'ai mises au point et préconisées dans le développement précédent.

### D. — Inconvénients de l'exagération du relief

J'ai dit précédemment que le principe de la mise en évidence des structures microscopiques des houilles est  *une sélection par la dureté*  des différents débris organisés qu'elles contiennent. A première vue on serait tenté de croire que cette mise en évidence  *est surtout réalisée par une forte mise en relief*  de certaines parties ayant conservé leur organisation par rapport aux substances dont les caractères amorphes indiquent soit une autre origine, soit des transformations profondes. En réalité, l'observation montre que les  *meilleures surfaces*  de houilles simplement polies  *sont celles où ce relief est le plus faible possible*  tout en permettant d'observer tous les détails de struc-

(1) La phrase littérale de MM. TURNER et RANDALL ([657], p. 307) est la suivante :  *The polished surface obtained in the above way, although not entirely free from scratches, suffice for good results.*

ture. C'est cette qualité que j'ai toujours cherché à obtenir, qualité que je considère d'autant plus comme indispensable que l'éclairage par le prisme, qui est beaucoup plus employé que l'éclairage par verre plan <sup>(1)</sup>, exagère cette sensation de relief. Les surfaces à relief trop accusé présentent alors des ombres portées importantes qui sont très gênantes aussi bien pour l'observation directe que pour la microphotographie.

Dans ces conditions, j'estime que les termes de « *Reliefschliff* » et de « *Reliefpolitur* » proposés par M. STACH s'appliquent bien à son procédé de polissage, mais que leur traduction littérale « *Surfaces en relief* » et « *Polissage en relief* » ne peuvent en aucune façon être attribuées respectivement à mes préparations de houille ou à mes méthodes de dégrossissage et de polissage qui tendent à obtenir *le relief le plus faible restant compatible avec la mise en évidence de la structure*.

La plupart des figures publiées par M. STACH dans son mémoire initial [582] et reproduites par lui dans le « *Kohlenpetrographisches Praktikum* » montrent bien l'exagération du relief de ses préparations de houille et les inconvénients graves qui en découlent.

Certaines figures ou certaines régions de figures sont en grande partie pratiquement illisibles <sup>(2)</sup>, tandis que dans certains cas les effets néfastes du « polissage en relief » ont donné naissance à une sorte de guillochage des surfaces polies que, comme je le montrerai plus loin, M. STACH a eu le tort de décrire comme *structures végétales* alors qu'elles ne représentent que des accidents de polissage <sup>(3)</sup>.

D'après ma propre expérience *l'exagération du relief est la conséquence de l'emploi de disques à polir garnis de drap, de flanelle ou de feutre*, substances qu'il est préférable de ne pas utiliser dans le polissage des charbons.

#### IV

### Observation microscopique. Micro- et macro-photographie.

En raison de la nature de ce mémoire je ne développerai cette partie technique de ma méthode d'observation que juste assez pour expliquer clairement les termes qui seront employés par la suite.

#### 1<sup>o</sup> — Observation microscopique

Pour les observations directes j'ai utilisé les instruments suivants qui au point de vue de la netteté des images donnent des résultats sensiblement équivalents.

a) Un *statif métallographique de Nacet* comportant le dispositif d'éclairage par prisme fixe, appareil simple et robuste qui doit être tout particulièrement recommandé aux débutants, son maniement facile ne comportant aucun réglage du prisme (Voir figure schématique 1<sup>t</sup>, p. 29).

(1) Voir à ce sujet les figures schématiques 1<sup>t</sup> et 2<sup>t</sup> qui représentent ces deux modes d'éclairage.

(2) Voir en particulier la figure 41 et la partie inférieure de la figure 47 du « *Kohlenpetrographisches Praktikum* » [584].

(3) Voir surtout les figures 19 et 20 du « *Kohlenpetrographisches Praktikum* » [584] où les soi-disant *structures* du Vitrain sont des pseudo-structures.

b) Un petit statif métallographique du type Le Chatelier de la Société française des Instruments d'optique dont la forme renversée n'exige aucun montage de l'échantillon à examiner qui se trouve convenablement orienté par le seul fait qu'on le place sur la platine de l'appareil. Cet instrument qui comprend sa source lumineuse et réalise l'éclairage central grâce à une lame de verre plane est d'un emploi particulièrement commode pour les observations qu'il est nécessaire d'effectuer au cours des opérations de polissage. Il constitue un microscope auxiliaire quasi indispensable à tout laboratoire bien outillé.

c) Un grand microscope métallographique de Reichert comprenant un banc d'optique recevant la source lumineuse, le statif ou microscope proprement dit et une chambre photographique. Le statif, du type Le Chatelier, est représenté par la figure schématique 3<sup>t</sup>. Le prisme  $P_1$  placé sous le prisme d'éclairage permet le renversement du microscope dont l'objectif est dirigé vers

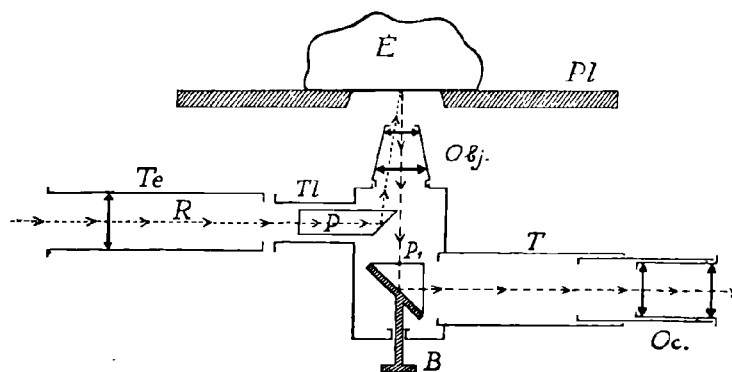


FIG. 3<sup>t</sup>. — Coupe schématique du microscope renversé (type LE CHATELIER) de C. REICHERT. — B. bouton de manœuvre du prisme  $P_1$ . — E. échantillon à examiner. — Obj. Objectif. — Oc. Oculaire. — P. prisme d'éclairage. —  $P_1$  prisme permettant le renversement du microscope. — Pl platine du microscope. — T. tube du microscope. — Te tube d'éclairage. — Tl tube de l'illuminateur du type Nacet. — R. faisceau éclairant représenté en pointillés (le faisceau formant l'image est figuré en points tirés).

le haut. Ce prisme  $P_1$  peut tourner (grâce au bouton B) de  $90^\circ$  autour d'un axe qui coïncide avec l'axe optique. Dans ses deux positions extrêmes ce prisme renvoie l'image soit dans la lunette d'observation oculaire (lunette normale à la figure et non représentée sur celle-ci), soit dans la lunette (T) reliant le microscope à la chambre photographique. Ce dispositif très commode permet de passer instantanément de l'observation directe à la microphotographie, circonstance qui facilite considérablement la tâche du micrographe.

## 2<sup>o</sup> — Microphotographie

Toutes mes microphotographies ont été exécutées à l'aide du banc métallographique de Reichert que je viens de décrire sommairement. Je rappellerai simplement ici ces connaissances élémentaires, que l'on a oubliées trop souvent, que les images destinées à être fixées par les plaques sensibles doivent toujours être obtenues par la combinaison d'un objectif et d'un



oculaire *convenablement accouplés* et que la qualité des résultats dépend de *l'emploi de lumière de longueurs d'onde convenables* réalisées facilement à l'aide d'écrans colorés.

Je tiens également à signaler ici les qualités remarquables des objectifs achromatiques et apochromatiques de Reichert qui dans ce domaine assez délicat de la microphotographie en lumière réfléchie m'ont toujours donné d'excellents résultats et doivent être considérés comme figurant parmi les meilleurs du genre qui se fabriquent actuellement. La conception de la partie mécanique et de la disposition des différentes parties essentielles (source lumineuse, microscope proprement dit, chambre photographique) du banc métallographique du type Le Chatelier de Reichert est également très heureuse et en fait un instrument parfait dont le maniement est aussi commode que possible.

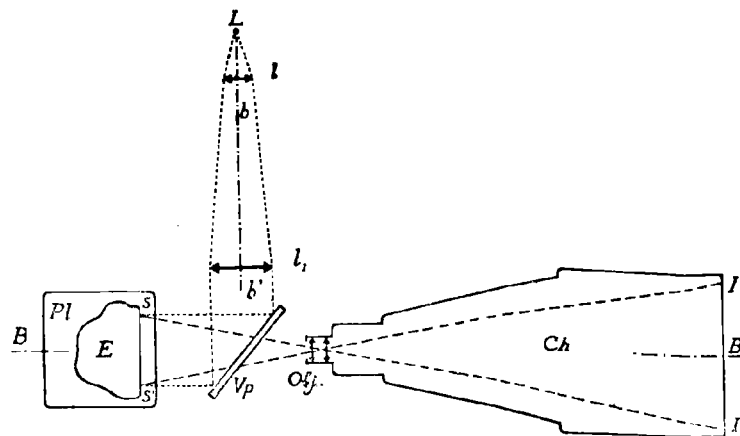


FIG. 4<sup>e</sup>. — Figure schématique représentant le dispositif de macrophotographie du banc métallographique de REICHERT. — BB' axe du banc d'optique principal portant la platine (Pl), le verre plan d'éclairage (Vp), et la chambre photographique (Ch) munie d'un objectif (Obj.). — bb' axe du petit banc d'optique latéral portant la source lumineuse (L), et les lentilles d'éclairage ( $l$  et  $l_1$ ). — E. échantillon à examiner. — SS' surface polie. — Les rayons éclairants sont représentés en pointillés, ceux formant l'image I' en points tirés.

### 3<sup>o</sup> — Macrophotographie

On désigne sous ce nom, en métallographie, *la photographie à faible grossissement, à l'aide d'un dispositif particulier*, des mêmes surfaces polies utilisées dans l'examen microscopique. Je décrirai sommairement ce dispositif tel qu'il existe dans l'appareil de Reichert de façon à donner le principe du procédé qui m'a servi à réaliser un assez grand nombre des figures qui accompagnent cet ouvrage. (Voir surtout les figures 208, 210, 212, 214 à 227, Pl. XL à XLVII, et en règle générale toutes les figures dont le grossissement est inférieur à  $\times 55$ ).

Ce dispositif que représente schématiquement la figure 4<sup>e</sup> consiste à écarter complètement le microscope et à le remplacer sur le banc d'optique principal (BB') par une *platine* (Pl.) réglable en hauteur destinée à recevoir l'échantillon (E) orienté de façon à ce que sa surface polie SS' soit bien normale à l'axe de la *chambre photographique*. Cette dernière (Ch) est munie d'un *objectif* (Obj.), à grande distance frontale, analogue comme construction aux objectifs de photo-

graphie ordinaire et pouvant être mis au point par une crémaillère. L'éclairage de la surface de l'échantillon (SS') est réalisé grâce à un *petit banc d'optique* latéral (bb') portant la source lumineuse (L) et deux lentilles ( $l, l_1$ ) qui permettent de diriger un faisceau lumineux de largeur convenable sur une *lame de verre plane* (Vp) perpendiculaire au banc d'optique principal, mais inclinée à  $45^\circ$  sur l'axe de ce dernier (BB'), lame de verre réfléchissant le dit faisceau et le dirigeant sur la surface de l'échantillon en question. Suivant la distance frontale de l'objectif ou ce qui revient au même suivant son grossissement la lame de verre plane (Vp) est montée sur un patin reposant sur le banc d'optique principal ou directement sur l'objectif à l'aide d'un dispositif spécial. La surface de la préparation SS' est photographiée à travers le verre plan Vp qui n'entraîne aucune déformation de l'image II' enregistrée sur la plaque sensible.

C'est par ce procédé de la macrophotographie que j'ai obtenu toutes les *vues d'ensemble* qui figurent parmi les planches de ce volume, vue d'ensemble dont les grossissements sont le plus souvent de  $\times 8$  ou de  $\times 16$  et dont la finesse de détail est de l'ordre de celle des microphotographies.

Détail que je crois devoir signaler, *il n'est jamais possible de superposer les microphotographies et les macrophotographies d'un même objet supposées ramenées aux mêmes dimensions*. Les figures obtenues par les deux procédés se comportent respectivement comme un objet et son image donnée par un miroir plan. La comparaison des figures 71 b et 73 (Pl. XIII), 208 et 209 (Pl. XL) met ce fait en évidence, le phénomène s'expliquant très facilement par les différences de marche des rayons qui forment l'image dans chacun des deux cas.

Pour terminer ce très bref exposé sur *la macro- et la microphotographie* je dirai quelques mots des grossissements auxquels ont été exécutées les figures de cet ouvrage.

Les chiffres précédés du signe  $\times$  que l'on trouve soit dans le texte, soit sous l'angle inférieur droit de chaque figure représentent le *grossissement linéaire* des objets photographiés. C'est à dessein que j'ai évité de donner dans mon texte de nombreuses mesures des corps figurés, les dimensions réelles de ces derniers pouvant s'obtenir très facilement en divisant celles qu'elles possèdent sur les figures par le grossissement indiqué sous chacune d'elles.

Les grossissements employés que je me suis attaché à rendre *aussi peu nombreux que possible* peuvent être divisés en trois groupes comprenant :

a) *Les grossissements faibles* ( $\times 8, \times 16, \times 25$ ) utilisés pour les vues d'ensemble obtenues par macrophotographie.

b) *Les grossissements moyens* ( $\times 55$ ) sont ceux que j'ai employés le plus fréquemment parce qu'ils permettent à la fois de représenter un ensemble de faits d'observation et d'obtenir une définition suffisante des détails de structure.

c) *Les grossissements forts* ( $\times 250, \times 440, \times 780, \times 1.020$ ) m'ont servi à mettre en évidence certains détails de structure particulièrement délicats et à démontrer que les surfaces simplement polies permettent de reconnaître les plus petits débris végétaux que l'on puisse imaginer.

Tous ces grossissements n'ont pas été choisis au hasard, mais se sont trouvés déterminés par l'adoption du grossissement  $\times 55$  comme grossissement moyen. J'ai adopté ce dernier pour les raisons suivantes :

1° L'appareil que j'utilise permet d'obtenir ce grossissement  $\times 55$  en donnant à la chambre

photographique une longueur suffisamment réduite *pour conserver aux images données par le système optique leur netteté et leurs qualités* <sup>(1)</sup>.

2° L'image obtenue dans ces conditions peut être facilement enregistrée sur des plaques photographiques de format 9×12, format qui présente le double avantage d'être assez économique et de se prêter particulièrement bien à la confection des maquettes de planches de dimensions courantes.

Tous les autres grossissements ont été déterminés par voie de conséquence *en conservant à la chambre photographique une longueur constante* et en substituant simplement les différentes combinaisons optiques les unes aux autres, l'expérience m'ayant démontré que dans ces conditions les qualités des images sont toujours conservées.

Si j'ai insisté sur ces détails d'ordre technique c'est qu'ils présentent, en réalité, une grande importance pratique et que leur observation peut éviter à ceux qui se consacreront à l'étude microscopique des houilles bien des insuccès. De plus, dans tous les cas ils permettent de réaliser un travail plus rapide tout en éliminant les causes d'erreurs, ce qui est doublement avantageux.

Dans la *réduction* du nombre des grossissements j'ai eu pour principal souci d'éviter les complications résultant de la multiplicité des grossissements qui rendent beaucoup plus pénibles et plus difficiles les comparaisons des différentes figures d'un ouvrage.

Je ne me suis départi de cette règle et n'ai utilisé de grossissements différents de ceux indiqués précédemment que dans des cas assez rares (Pl. XXIII, Fig. 119, ×130 et Pl. LX, Fig. 289, ×1360) où des facilités de mise en place aidant j'ai employé des clichés obtenus à des grossissements réalisés par moi au début de mes recherches, mais que j'ai abandonnés depuis.

Mes préparations permettent de dépasser de beaucoup le grossissement maximum employé de ×1.020. Néanmoins, je n'ai pas cru devoir aller au delà de ce dernier chiffre, les grossissements plus forts ne montrant rien de plus au point de vue structural et entraînant, au contraire, des difficultés d'ordres divers dans la reproduction phototypique.

### Conclusions du Chapitre quatrième.

Comme conclusions à ce chapitre, où je me suis efforcé de décrire aussi clairement que possible la *technique d'exécution par simple polissage* des surfaces de houille destinées à l'examen par réflexion, je me bornerai à rappeler que par sa *simplicité*, sa *rapidité* et sa *généralité d'application* jointes aux *qualités* et aux *grandes dimensions* des préparations obtenues, cette méthode, que j'avais déjà mise au point et que j'ai utilisée constamment depuis l'année 1923, est la seule qui, dans l'état actuel de nos connaissances, ait permis d'aborder une étude d'ensemble des houilles paléozoïques d'un même gisement.

Cette méthode est pour les houilles d'application générale et les insuccès auxquels elle a conduit certains auteurs doivent être attribués à l'emploi de techniques défectueuses et dans bien des cas au fait que les micrographes n'ont pas cru devoir s'astreindre à exécuter eux-mêmes les opérations délicates qu'elle nécessite.

(1) Je rappellerai ici que les grossissements d'ordre supérieur obtenus à partir d'un système optique donné *en allongeant la chambre photographique sont toujours des grossissements vides*, impuissants à révéler aucun détail supplémentaire. Le plus souvent ils se traduisent par une *diminution sensible* des qualités de l'image. Ils ne doivent guère être utilisés que lorsqu'ils favorisent l'observation par un grandissement de l'image.

## RÉSUMÉ DU LIVRE PRÉLIMINAIRE

### Avantages de la technique par simple polissage.

Dans ce livre préliminaire, consacré exclusivement aux méthodes d'étude microscopique des houilles, j'ai eu surtout en vue le double but de *décrire* la technique de préparation des surfaces simplement polies de houilles destinées à l'examen métallographique, que j'ai mise au point il y a plus de sept années, et de *justifier* l'usage exclusif de cette méthode particulière à laquelle j'ai cru devoir m'arrêter après avoir expérimenté toutes les autres ou avoir comparé les résultats qu'elles ont permis d'obtenir à ceux que j'ai acquis moi-même.

En agissant ainsi je n'ai nullement eu l'intention de diminuer les mérites des autres procédés d'investigations microscopiques qui ont tous contribué, à des degrés divers, à l'accroissement de nos connaissances sur la structure intime des charbons, ni de porter sur ces procédés un jugement définitif. Toutes ces techniques sont évidemment perfectibles et les excellents résultats obtenus récemment par M. ZERNDT [713 à 715] dans l'application de la méthode des macérations à l'étude des spores de certains charbons sont venus le démontrer très clairement.

Les affirmations de certains auteurs qui ont attribué leurs insuccès non à eux-mêmes, mais à la soi-disant insuffisance du procédé de simple polissage, que je suis à peu près le seul avec M. E. STACH à utiliser aujourd'hui, m'incitent à résumer dans les conclusions de ces deux premiers chapitres les avantages que présentent les méthodes que je viens de décrire dans le chapitre quatrième par rapport aux techniques plus anciennement employées.

Ces avantages sont les suivants :

1<sup>o</sup> Les procédés de simple polissage des surfaces destinées à l'examen en lumière réfléchie possèdent une *généralité d'application* qui m'a permis d'étudier non seulement tous les types de houilles de divers gisements des charbons les plus gras aux anthracites les plus maigres, mais encore d'aborder l'étude de combustibles spéciaux (Cannel-Coals et Bogheads) et des lignites. Dans tous ces domaines les résultats acquis ont été toujours sensiblement égaux et souvent supérieurs à ceux obtenus par les autres méthodes. Au contraire, le manque de généralité d'application des méthodes des lames minces, des sections minces, des macérations, des incinérations et des surfaces polies attaquées est mis en évidence par le fait qu'elles n'ont été utilisées jusqu'ici que dans l'étude de houilles particulières appartenant presque exclusivement à la catégorie des charbons de spores.

2<sup>o</sup> Les méthodes de simple polissage présentent l'avantage d'une *grande simplicité* et d'une *rapidité d'exécution* des préparations destinées à l'examen microscopique qui sont les conditions essentielles pour qu'il soit possible d'élargir suffisamment le champ d'observations et de multiplier les investigations dans de larges proportions. Aux manipulations longues et compliquées du procédé des sections minces ou des macérations, aux opérations hasardeuses et délicates du procédé des lames minces de houilles rappelées récemment par M. LUCIEN CAYEUX ([131], p. 92 et 93), à la technique dangereuse de l'attaque des surfaces polies, la méthode de

simple polissage substitue une technique simple et rapide permettant d'atteindre le but cherché avec une quasi certitude.

3° La technique de simple polissage permet de soumettre à l'examen microscopique des échantillons de houille *n'ayant subi aucune action susceptible de modifier même légèrement leur composition chimique ou leur structure*, l'échantillon subissant tout au plus l'échauffement sur le disque à polir, échauffement en général très faible et souvent presque nul. Il n'en est pas de même dans les autres procédés, où l'action courte ou prolongée de réactifs violents ou de la chaleur (méthodes des sections minces, des surfaces polies attaquées, des macérations, des incinérations) et parfois la combinaison de ces deux agents font subir aux échantillons de la roche éminemment oxydable qu'est le charbon des modifications mal connues et dont on ne peut mesurer l'importance. Les procédés d'enrobage dans le baume chaud qu'utilise M. STACH dans la préparation de certaines surfaces polies et que nécessite toujours la confection des lames minces de houille peuvent modifier une roche qui se transforme lentement à la température ordinaire et s'oxyde assez rapidement aux températures voisines de 100°. Cette action peut être assez sensible dans la méthode des lames minces où la pellicule de charbon subit parfois dans un liquide très chaud des déformations plus ou moins importantes.

4° *Par leurs dimensions relativement considérables* les surfaces polies permettent de multiplier les examens microscopiques et d'observer les rapports des différents lits élémentaires des houilles; observations qui sont quasi impossibles dans le cas d'utilisation des autres procédés d'investigation. L'exigüité des préparations obtenues par la méthode des sections minces est un obstacle à toutes les observations autres que celles d'ordre paléontologique que ne permettent guère de dépasser les petites dimensions de la plupart des lames minces. Quant aux procédés des macérations et des incinérations qui opèrent par destruction de la roche il est évident que leur mise en œuvre compromet irrémédiablement toutes les recherches d'ordre pétrographique. A ce point de vue seules les grandes lames minces de M. J. LOMAX, dont l'usage n'est pas généralisé, peuvent rivaliser avec les surfaces simplement polies de houille préparées par les procédés dont j'ai préconisé l'usage.

5° Les *Qualités* des surfaces simplement polies sont toujours au moins égales à celles des préparations obtenues par les autres méthodes et permettent dans tous les cas l'emploi des plus forts grossissements nécessaires à la résolution des plus fins détails de structure microscopique des houilles. Les avantages du procédé de simple polissage se trouvent du reste confirmés par l'usage des attaques très mitigées, préconisées récemment, et où la soi-disant attaque n'est en réalité qu'un nettoyage de surfaces polies encrassées.

De plus, l'*efficacité* de la technique de simple polissage est plus grande que celle des autres techniques, les préparations obtenues par cette méthode ayant non seulement montré toutes les structures observées grâce aux autres procédés d'investigation, mais encore révélé des détails de structure qui n'avaient jamais été mis en évidence par les dits procédés.

Dans ces conditions, la technique simple et pratique que j'ai décrite dans le chapitre précédent m'ayant donné tous les résultats désirables, il m'a paru inutile de chercher à obtenir par des méthodes plus compliquées et à succès problématiques des préparations facilement réalisables par la dite technique.

La valeur d'une méthode d'investigation microscopique s'appréciant surtout par les qualités des reproductions photographiques qu'elle permet d'obtenir, je n'insisterai pas autrement ici sur les avantages de la technique que j'ai mise au point et renverrai simplement le lecteur aux microphotographies qui figurent parmi les 66 planches de ce volume. Ces microphotographies dont le nombre est supérieur à 330, comme du reste celles également nombreuses qui accompagnent les monographies que j'ai publiées depuis 1925 [180 à 213<sup>ème</sup>], lui permettront de se convaincre de l'importance des résultats obtenus et de la généralité d'application du procédé qui révèle la structure intime des houilles paléozoïques quelle que soit leur composition chimique.

En résumé, aucune des méthodes d'investigation utilisées antérieurement ne satisfaisait complètement aux conditions que l'on doit exiger d'une bonne méthode d'étude microscopique des houilles. C'est dans ces conditions que j'ai été naturellement amené à rechercher un procédé nouveau ne présentant aucun des inconvénients et des défauts de ceux précédemment employés. Après différents tâtonnements je me suis décidé à *utiliser uniquement une méthode en lumière réfléchie* dont l'emploi a été rendu possible par la mise au point, au cours des années 1923-24, de *procédés de polissage* des surfaces de houille permettant d'*éliminer toute attaque*.

Les résultats obtenus prouvent que la technique que j'ai employée avant 1925 et que je n'ai cessé de perfectionner depuis au cours de mes recherches répond à toutes les exigences que j'ai énumérées plus haut. Par sa grande généralité d'application, sa rapidité d'exécution, les grandes dimensions des préparations et surtout par les qualités de ces dernières qui rendent possible l'usage des plus forts grossissements utiles, cette technique constitue *une méthode d'investigation* permettant d'aborder simultanément, par ses seuls moyens, les différents problèmes que pose l'étude pétrographique des houilles de toutes les catégories, des charbons les plus gras aux anthracites les plus maigres.

Cette technique m'ayant fourni, dans tous les cas où elle était susceptible d'être employée, des résultats au moins égaux à ceux donnés par les autres procédés d'investigation j'ai préféré ne pas faire état dans le présent mémoire des observations que j'ai pu faire par ces moyens et que j'utiliserai dans des monographies séparées. J'ai pu ainsi réaliser une *unité de méthode* qui dans la partie descriptive de ce travail constitue, à mon avis, un avantage et une simplification auxquels ne correspond aucun inconvénient sérieux.

En perfectionnant, au cours de plus de huit années de recherches, mes procédés de simple polissage des houilles, j'espère avoir mis à la disposition de ceux de mes confrères qui désireront entreprendre des recherches pétrographiques sur les charbons un instrument de travail meilleur et d'application plus générale et plus facile que ceux que l'on avait préconisés jusqu'ici. Je serais personnellement très heureux si cet instrument de travail, dont la mise au point m'a permis d'entreprendre l'étude pétrographique des houilles du Nord de la France et de différents gisements, pouvait aider ceux qui aborderont des recherches analogues destinées à faire progresser la science dans cette même voie.

C'est dans le but de mettre à leur portée mes divers procédés de préparation des surfaces de houille simplement polies que j'ai décrit aussi complètement que possible, dans le chapitre précédent, la technique que j'ai employée dans les recherches exposées dans ce mémoire ou dans ceux qui ont été publiés avant lui.

## LIVRE PREMIER

### OBSERVATIONS SUR LES HOUILLES DU NORD DE LA FRANCE

Le livre premier de ce mémoire comprendra l'exposé des observations microscopiques et macroscopiques des houilles que l'emploi de la méthode de simple polissage décrite dans le chapitre précédent m'a permis de réaliser, soit à partir de nombreux échantillons de charbons du gisement du Nord et du Pas-de-Calais, soit à l'aide d'un plus petit nombre de houilles étrangères à ce bassin que j'ai tenu à étudier comme termes de comparaison. Les différents chapitres de ce livre seront groupés en un certain nombre de parties qui traiteront successivement des *structures microscopiques et macroscopiques des houilles, des différents types de charbons et de leur distribution* dans le Bassin houiller du Nord de la France.

#### PREMIÈRE PARTIE

### STRUCTURE MICROSCOPIQUE DES HOUILLES

#### SECTION I. — LES DÉBRIS VÉGÉTAUX ORGANISÉS.

CHAPITRE V<sup>e</sup>. — *Les substances cutinisées.* — I. Les exines de spores. — II. Les épis fructifères et les sporanges. — III. Les cuticules de feuilles.

CHAPITRE VI<sup>e</sup>. — *Les substances résineuses.*

CHAPITRE VII<sup>e</sup>. — *Les substances ligneuses.*

#### SECTION II. — LES SUBSTANCES ORGANIQUES AMORPHES.

CHAPITRE VIII<sup>e</sup>. — *Les ciments ou pâtes des houilles.* Leur présence dans certaines roches stériles.

#### SECTION III. — LES SUBSTANCES MINÉRALES.

CHAPITRE IX<sup>e</sup>. — *Les substances cendreuse observables au microscope.* — I. Substances argileuses. — II. Substances carbonatées. — III. Substances sulfurées et sulfatées.

APPENDICE. — *Les substances cendreuse invisibles au microscope.*

#### SECTION IV. — LES VIDES DES HOUILLES.

CHAPITRE X<sup>e</sup>. — *Les vides de retrait des houilles.*

#### SECTION V. — LES STRUCTURES SECONDAIRES DES HOUILLES.

CHAPITRE XI<sup>e</sup>. — *Les houilles plissées et fracturées.*

CHAPITRE XII<sup>e</sup>. — *Les cassures particulières des houilles.*

CHAPITRE XIII<sup>e</sup>. — *Les lits et galets de houille remaniée.*

#### CONCLUSIONS DE LA PREMIÈRE PARTIE.

## SECTION I

## LES DÉBRIS ORGANISÉS DES HOUILLES

L'examen microscopique des houilles a révélé deux faits nouveaux qui viennent infirmer les opinions antérieurement admises sur la structure de ces roches combustibles. Cet examen montre en effet :

1<sup>o</sup> — Que les houilles ne sont pas formées, comme on l'admettait autrefois, de grands débris végétaux des plantes houillères (troncs, tiges, branches, etc.), mais de menus débris tels que les petits organismes autonomes (spores) qui correspondent à certaines phases du développement des dites plantes ou de fragments de certains tissus végétaux particulièrement résistants aux agents naturels de destruction ou de transformation.

2<sup>o</sup> — Que les substances végétales que l'on retrouve dans les houilles à l'état organisé appartiennent à un petit nombre de tissus végétaux (tissu ligneux, tissu sécréteur) et représentent parfois une partie seulement d'un tissu végétal (cuticule des tissus corticaux des feuilles, exines cutinisées des enveloppes de spores).

Ces débris végétaux organisés appartiennent à trois types de substances végétales à compositions chimiques différentes :

1<sup>o</sup> — Les substances cutinisées.

2<sup>o</sup> — Les substances résineuses.

3<sup>o</sup> — Les substances ligneuses.

Substances qui seront étudiées dans autant de chapitres différents.

## CHAPITRE CINQUIÈME

## Les substances cutinisées

## Les Spores et les Cuticules.

## PLANCHES I A XVIII.

## SOMMAIRE.

- I. — LES EXINES DE SPORES. — Définition du terme « spore ». — A. — *Les macrospores*. — Leurs aspects en sections horizontales et verticales. Les différentes variétés de macrospores. — B. — *Les microspores*. — Leurs caractères en sections horizontales et verticales. — Les divers types de microspores. — C. — *Mode de gisement des spores*. — D. — *Origines des spores*. — *Conclusions*.
- II. — LES ÉPIS FRUCTIFÈRES ET LES SPORANGES. — Leur rareté.
- III. — LES CUTICULES. — Définition du terme « cuticule ». — A. — *Caractères morphologiques des cuticules*. — B. — *Caractères des substances incluses entre les cuticules*. — C. — *Gisement des cuticules*. — D. — *Origines des Cuticules* — *Conclusions*.
- IV. — CARACTÈRES SPÉCIFIQUES DES SUBSTANCES CUTINISÉES.  
CONCLUSIONS DU CHAPITRE CINQUIÈME.



L'étude systématique des structures microscopiques des houilles du Nord de la France m'a permis de mettre en évidence le rôle considérable que les substances cutinisées ont joué dans la formation de certaines veines de houille.

Ce rôle a été tel que, pour citer un seul exemple parmi ceux qui seront signalés au cours de ce travail, toutes les veines de houille exploitées dans la concession de Bruay au-dessus du niveau marin de Rimbert (quarante environ) <sup>(1)</sup> sont formées principalement par des accumulations de cuticules et d'exines de spores et que dans beaucoup d'entre elles les substances cutinisées représentent la presque totalité des débris organisés.

Cette constatation a une grande importance aux points de vue théorique et pratique car elle nous révèle, d'une part, la fréquence des charbons de spores et de cuticules dans notre bassin houiller et, d'autre part, l'existence de veines de houille de composition chimique bien définie, formées entièrement *du toit au mur* par des accumulations de spores et de cuticules.

Ceci infirme l'opinion généralement admise, jusqu'ici, que les charbons de spores ne représentent jamais que quelques épisodes dans la formation d'une couche de houille, le rôle principal étant attribué à une accumulation de tissus ligneux (bois, sclérenchyme) <sup>(2)</sup>.

Les substances cutinisées des plantes houillères ont donc joué un rôle extrêmement important dans la formation de toute une catégorie de charbons (Charbons de Cutine = houilles à hautes teneurs en matières volatiles). J'étudierai successivement les caractères des corps figurés cutinisés et la composition chimique de la cutine.

La cutine joue chez les végétaux un rôle essentiellement protecteur et ne se rencontre guère qu'à la surface <sup>(3)</sup> de certains organes (spores, feuilles, jeunes tiges et jeunes rameaux etc...) dépourvus d'écorce ou de liège.

Cette cutine forme une peau qui moultant la surface de l'organe en répète tous les détails, et réalise un enduit imperméable, isolant qui protège énergiquement cette partie de la plante et diminue beaucoup l'évaporation (transpiration). C'est pourquoi les plantes qui doivent résister à de grandes sécheresses et les organes destinés à subir des phénomènes de transports accompagnés de vicissitudes variées (spores, grains de pollen) sont recouverts à leur périphérie d'une épaisse couche de cutine.

Les corps figurés cutinisés de la houille peuvent se ranger suivant leur origine dans les deux catégories suivantes :

I. — Exines (ou cuticules) de spores.

II. — Cuticules de feuilles et de jeunes rameaux ou cuticules proprement dites.

(1) Ces couches de houille se trouvent réparties dans une épaisseur de 880<sup>m</sup> de terrains stériles (schistes et grès) ; elles appartiennent à l'Assise de Bruay (Faisceaux d'Édouard, de Dusouich, d'Ernestine et de Six Sillons).

(2) Cette opinion a été en particulier acceptée par DAWSON [153], 1871 ; WETHERED [667], 1885 ; STOPES et WHEELER [613], 1918 et [616], 1924.

(3) On connaît néanmoins des exemples de cellules dont les parois internes sont cutinisées. Voir : R. CHODAT. — Principes de Botanique. Libr. Georg et C<sup>ie</sup>, Genève, 1907, pages 163 et 165.

# I

## LES EXINES DE SPORES

PLANCHES I A XI

### Définition du terme « Spore »

La flore houillère était caractérisée par la prédominance des *Cryptogames vasculaires* <sup>(1)</sup> (Lépidodendrons, Sigillaires, Calamites, Fougères vraies) c'est-à-dire des plantes dont la reproduction et la dissémination étaient assurées par des *spores*.

Les spores sont des petits organismes autonomes qui pour jouer le rôle biologique qui leur est dévolu doivent être efficacement protégés contre les agents destructeurs et présenter une grande légèreté de façon à permettre leur dispersion par les agents de transports naturels.

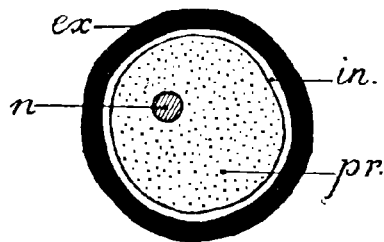


FIGURE 5<sup>t</sup>. — Coupe schématique d'une spore.

*ex.* — exine cutinisée.

*in.* — intine cellulosique.

*n.* — noyau.

*pr.* — protoplasme.

La *protection* des spores est assurée par leur organisation même qui est représentée par la figure schématique 5<sup>t</sup> où l'on peut observer les différentes parties suivantes :

1<sup>o</sup> — Une *membrane* enveloppant complètement la spore et formée de deux couches distinctes :

a) l'*Exine* (*ex.*) constituée par la zone externe épaissie et cutinisée de la membrane cellulaire.

b) l'*Intine* (*in.*) ou partie interne restée mince et cellulosique de cette même membrane.

2<sup>o</sup> — Un *protoplasme* épais riche en substances de réserve (*pr.*).

3<sup>o</sup> — Un *noyau* (*n.*).

La *dissémination* des spores est facilitée par leurs dimensions souvent très faibles et les aspérités ou ornements qui donnent à la surface externe de l'exine une certaine rugosité permettant une action plus efficace des agents de transport habituels, les vents et les insectes.

Beaucoup de cryptogames houillères étaient hétérosporées et donnaient naissance à deux sortes de spores, les spores femelles ou *macrospores* appelées parfois « mégaspores » et les spores mâles ou *microspores*. Certaines autres, au contraire, étaient isosporées et ne donnaient naissance qu'à une seule sorte de spores.

(1) Ce caractère est commun au Dévonien moyen et supérieur, au Carbonifère et au Permien inférieur et a valu à l'ensemble de ces formations le nom d'« ère des cryptogames vasculaires et des phanérogames anciennes ». Voir à ce sujet : PAUL BERTRAND. [87].

Les phanérogames houillères <sup>(1)</sup> (Cordaïtes, Fougères à graines) mettaient en liberté des *grains de pollen* qui sont les équivalents physiologiques des microspores des cryptogames vasculaires. Identiques à ces dernières quant à leur dispositif de protection (exine cutinisée de la membrane), ces grains de pollen ne peuvent guère être distingués des microspores avec lesquels ils sont ordinairement confondus dans les descriptions pétrographiques des houilles. Dans le développement qui va suivre j'étudierai donc successivement les macrospores et les microspores de la houille, ce dernier terme pouvant s'appliquer parfois à des grains de pollen.

Dans les houilles, comme dans la plupart des autres charbons, on ne retrouve jamais que les *cuticules* ou exines cutinisées des spores ; les intines cellulosiques, les protoplasmes et les noyaux ayant toujours disparu.

Le terme *cuticule* étant généralement employé pour désigner les peaux externes cutinisées des feuilles et des jeunes rameaux fossilisés dans les houilles, les cuticules des spores seront toujours désignées dans ce travail par le terme *exines de spores* ou plus brièvement par les mots *exines* ou *spores*.

## A

### Les Macrospores.

#### PLANCHES I A X

Les macrospores houillères présentent comparativement à celles des espèces actuelles des dimensions relativement considérables. Leur taille est souvent voisine de 1 millimètre, mais ce caractère n'a rien qui doive nous étonner si l'on considère que les cryptogames vasculaires houillères étaient des arbres gigantesques (Sigillaires, Lépidodendrons), alors que les espèces correspondantes actuelles (Lycopodes, Selaginelles) sont, au contraire, de petites plantes. Le gigantisme des macrospores est en rapport avec celui de la plante qui les produisait.

Les macrospores prenaient naissance dans un organe spécial porté par certaines feuilles, le *macrosporangé*. Ces derniers ne contenaient le plus souvent qu'un très petit nombre de macrospores qui généralement étaient réunies par quatre (tétrades). Dans ce dernier cas les spores serrées les unes contre les autres affectaient la forme de tétraèdre à trois faces planes et une face (f. externe) courbe, l'ensemble de la tétrade ayant des contours sensiblement sphériques.

Toutes les macrospores de la houille sont réduites à leur enveloppe externe cutinisée ou *exine*, leur intine cellulosique, leur contenu protoplasmique et leur noyau ayant toujours disparu.

Elles présentent en surfaces polies des formes et des contours qui sont fonction de leur structure primitive, de leur déformation et de la direction de la section ; nous les étudierons

(1) Je rappellerai brièvement ici les différences essentielles qui caractérisent les cryptogames et les phanérogames.

Les *cryptogames vasculaires* ou plantes se reproduisant par spores sont caractérisées par une alternance de formes. La *plante feuillée* donne naissance à des spores qui représentent l'organe de dissémination du végétal. Ces spores en germant deviennent le point de départ d'un *prothalle* à partir duquel se différencie une nouvelle plante feuillée.

Les *phanérogames* ou plantes à fleurs n'offrent dans leur cycle évolutif qu'une seule forme celle de la *plante feuillée*, leur dissémination est assurée par des graines.

successivement en *sections horizontales* (parallèles au plan de stratification) et en *sections verticales* (perpendiculaires au plan de stratification).

**a — Aspects des macrospores en sections horizontales.**  
(parallèles au plan de stratification de la couche de houille)

PLANCHES I A IV.

L'étude d'ensemble des macrospores houillères met en évidence qu'en règle générale, ces organites <sup>(1)</sup> sont réduits à leur exine cutinisée et dépourvus de leur contenu. Dans ces condi-

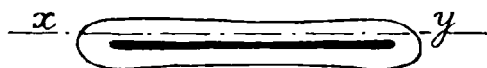


FIGURE 6<sup>1</sup>

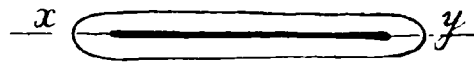


FIGURE 7<sup>1</sup>

Figures schématiques expliquant les aspects en *disques pleins* (Fig. 6<sup>1</sup>) et en *couronnes* (Fig. 7<sup>1</sup>) que présentent les spores en sections horizontales.

Les spores sont représentées ici en sections verticales. La droite *x y* est la trace d'une section horizontale intéressant dans le premier cas la membrane (Fig. 6<sup>1</sup>) et dans le deuxième (Fig. 7<sup>1</sup>) la cavité (lumière) des dites spores

tions elles affectaient la forme de ballonnets creux dont les parois, au bout d'un certain temps, s'affaissaient sous leur propre poids et prenaient l'aspect de petits sacs discoïdes aplatis, à cavités plus ou moins réduites.

FIGURE 8<sup>1</sup>

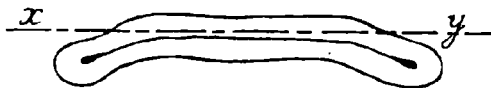


FIGURE 8<sup>1</sup>. — Aspect, en section verticale, d'une exine de spore dont les affaissements des extrémités expliquent les échancrures observées dans certaines sections horizontales de macrospores.

*x y*. — trace du plan de la section horizontale de la Fig. 9<sup>1</sup>.

FIGURE 9<sup>1</sup>. — Schéma représentant la macrospore Ms de la Fig. 1 (Pl. I), macrospore où l'on observe les échancrures qu'explique la Fig. 8<sup>1</sup>.

*x y*. — trace du plan de la section verticale de la Fig. 8<sup>1</sup>.

*Ld*. — ligne de déhiscence de la macrospore.

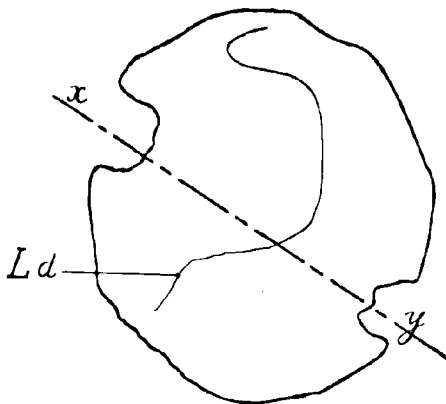
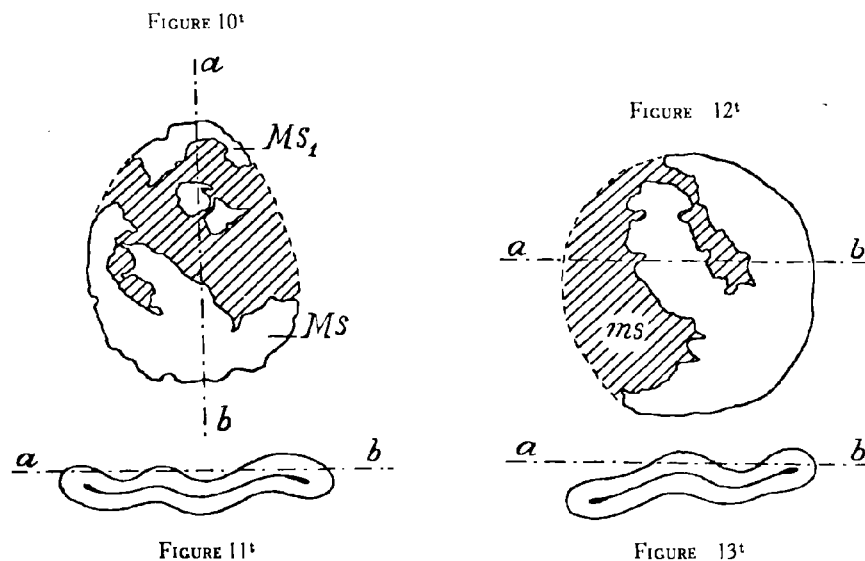


FIGURE 9<sup>1</sup>

(1) Ce terme a été utilisé par B. RENAULT dans son mémoire sur les micro-organismes des combustibles fossiles [527] comme diminutif d'organisme. Il m'a semblé commode de le conserver et de l'utiliser dans le sens d'organismes de petites dimensions.

En section horizontale, c'est-à-dire en section parallèle au plan de stratification de la couche de houille, les aspects des macrospores varient suivant la position de la coupe dans l'épaisseur de la spore, selon la direction exacte d'aplatissement de cette dernière par rapport à celle des strates, et suivant que ses parois sont plissées ou non.

Lorsque la spore est bien étalée parallèlement à un plan et que ce plan d'aplatissement coïncide exactement avec celui de la section deux cas peuvent se présenter :



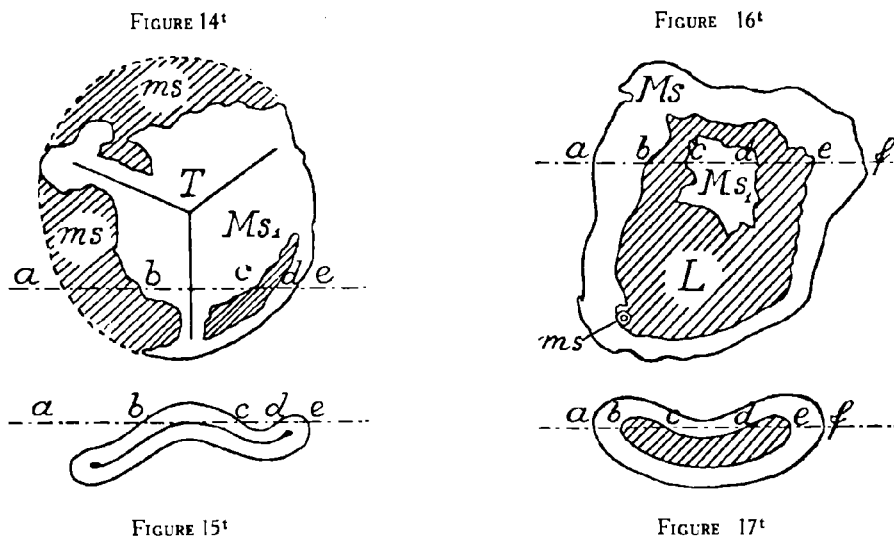
- Schémas expliquant les irrégularités de contours que présentent certaines macrospores en sections horizontales.
- FIG. 10<sup>t</sup>. — Schéma représentant les contours de la macrospore Ms, Ms<sub>1</sub> de la figure 4 (Planche I), vue en section horizontale.
- FIG. 11<sup>t</sup>. — Coupe verticale hypothétique de l'exine de spore de la fig. 10<sup>t</sup>. Les plissements de cette exine expliquent pourquoi le plan de la section horizontale n'intéresse pas la paroi de la spore dans certaines régions où il passe dans la houille encaissante. (parties hachurées de la Fig. 10<sup>t</sup>).
- FIG. 12<sup>t</sup>. — Schéma représentant les contours de la macrospore Ms de la Fig. 2 (Pl. I) vue en section horizontale.
- FIG. 13<sup>t</sup>. — Coupe verticale hypothétique de l'exine de spore de la Fig. 12<sup>t</sup>. L'obliquité et les plissements de l'exine expliquent pourquoi la section horizontale passe dans la houille encaissante (parties hachurées de la Fig. 12<sup>t</sup>).
- Dans les figures 10<sup>t</sup> et 12<sup>t</sup> les droites a b sont les traces des plans des sections verticales hypothétiques 11<sup>t</sup> et 13<sup>t</sup>. Dans les figures 11<sup>t</sup> et 13<sup>t</sup> les droites a b sont les traces des plans des sections horizontales des Fig. 10<sup>t</sup> et 12<sup>t</sup>.
- Les parties hachurées représentent la houille encaissante riche en microspores ms. Les lignes pointillées indiquent les contours probables des spores entières.

$\alpha$  — La section passe par l'épaisseur de l'une des parois de la Spore (Voir la figure schématique ci-contre (Fig. 6<sup>t</sup>)). L'exine apparaît alors sous forme de *disque plein* (Pl. I, Fig. 1, Ms ; Fig. 3, Ms<sub>1</sub>, Pl. II, Fig. 5, Ms<sub>2</sub>) d'*ellipse* (Pl. III, Fig. 11, Ms<sub>1</sub>) de *triangles* à côtés curvilignes et à angles arrondis (Pl. I, Fig. 4, Ms, Ms<sub>2</sub>), parfois de surfaces à contours assez irréguliers (Pl. I Fig. 3, Ms); aspects différents qui sont fonction des formes primitives des spores et des circonstances de l'affaissement des parois inférieure et supérieure de chacune d'entre elles.

$\beta$  — La section passe par la cavité ou lumière (Voir schéma explicatif ci-contre, Fig. 7<sup>t</sup>)

de la macrospore et cette dernière apparaît alors sous forme d'une *couronne* dont les contours peuvent être circulaires, ovoïdes ou irréguliers. (Pl. III, Fig. 12,  $Ms_1$  ; Fig. 13,  $Ms$ ).

Les sections complètes sont assez rares, car elles supposent réunies des conditions qui ne se réalisent qu'exceptionnellement telles que le parallélisme rigoureux du plan de la section



Schémas expliquant les contours irréguliers ou en couronnes que présentent certaines macrospores.

FIG. 14<sup>t</sup>. — Schéma représentant les contours de la macrospore  $Ms_1$  de la Fig. 5 (Pl. II). Les arêtes au sommet du tétraèdre, mieux visibles sur la spore  $Ms$  de la même figure (Fig. 5, Pl. II), ont été indiquées sur ce schéma où elles convergent en T.

FIG. 15<sup>t</sup>. — Section verticale hypothétique de la macrospore de la Fig. 14<sup>t</sup> expliquant par des plissements ou affaissements des bords de l'exine les échancrures (a b) ou cavités (c d) que montre la section horizontale (Fig. 14<sup>t</sup>).

FIG. 16<sup>t</sup>. — Schéma représentant la macrospore  $Ms$  de la Fig. 13 (Pl. III) affectant dans son ensemble, en section horizontale, l'aspect d'une couronne contenant dans sa cavité (L) un lambeau d'exine de macrospore  $Ms_1$ , et quelques microspores dont l'une (ms) présente elle-même l'allure d'une couronne plus petite.

FIG. 17<sup>t</sup>. — Section verticale hypothétique de la macrospore de la Fig. 16<sup>t</sup> dont la cavité ou lumière (L) a été supposée assez vaste<sup>(1)</sup>. Une dépression centrale de l'exine explique la présence du lambeau  $Ms_1$  recoupé entre c et d par la section horizontale et isolé dans la cavité de la spore. Les parois de l'exine sont également recoupées par la dite section dans leurs régions marginales en a b et e f.

Les droites a b c... représentent dans les quatre figures les intersections mutuelles des plans des sections verticales (Fig. 15<sup>t</sup> et 17<sup>t</sup>) et des sections horizontales (Fig. 14<sup>t</sup> et 16<sup>t</sup>).

Les parties hachurées représentent la houille encaissante (Fig. 14<sup>t</sup>) ou la substance de remplissage des exines de spores (Fig. 16<sup>t</sup>). Les lignes pointillées indiquent les contours probables des spores entières.

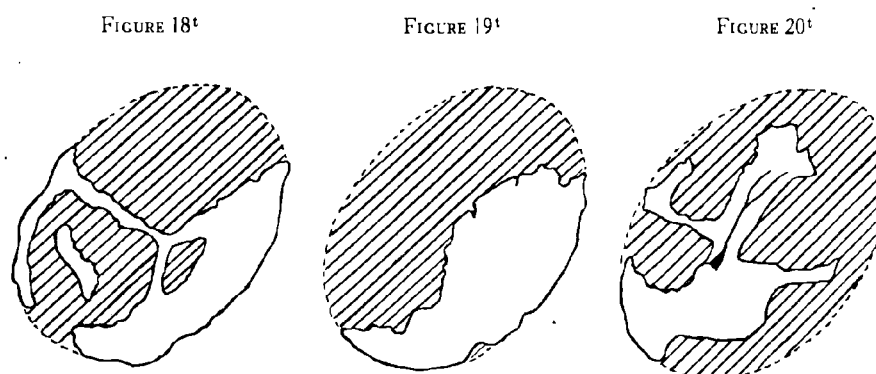
et de celui de l'aplatissement de la spore, l'étalement des parois de cette dernière suivant cette même direction et l'absence de plissements de l'exine.

Les plissements que présentent les parois des macrospores modifient souvent leur aspect en sections horizontales. Lorsqu'ils sont irréguliers ces plissements peuvent donner l'illusion de cavités existant dans la paroi de la spore (Pl. II, Fig. 5,  $Ms_2$  ; Pl. III, Fig. 10,  $Ms_1$  ; et

(1) Des sections verticales de ce type peuvent être observées sur la Fig. 19, Pl. V.

Fig. 11, Ms), d'échancrures entamant profondément ses bords (Pl. I, Fig. 1, Ms et figures schématiques ci-contre (Fig. 8<sup>t</sup> et 9<sup>t</sup>), ou conférer à ces derniers des aspects dentelés ou finement crénelés.

Ces plissements ne sont pas toujours quelconques et ne dérivent pas uniquement du hasard qui présidait à l'aplatissement des spores. Ils sont souvent en rapport avec les formes que présentaient ces dernières à l'état vivant. C'est ainsi que les arêtes tétraédriques communes aux trois faces planes des spores correspondaient fréquemment à des épaisissements de la paroi, épaisissements qui se manifestent en section verticale par des bourrelets plus ou moins accen-



Figures schématiques représentant quelques types de contours irréguliers des macrospores en sections horizontales.

FIG. 18<sup>t</sup>. — Contours des parties de l'exine d'une macrospore recoupées par le plan de la Fig. 6 (Pl. II). L'allure tétraédrique est ici nettement indiquée.

FIG. 19<sup>t</sup>. — Fragment d'exine de macrospore visible sur la Fig. 7 (Pl. II).

FIG. 20<sup>t</sup>. — Exine de macrospore à contours très irréguliers observable en Ms<sub>1</sub> sur la figure 9 (Pl. II).

Les parties hachurées représentent la houille encaissante, les parties blanches les membranes de l'exine coupées par les plans des différentes sections. Les lignes pointillées indiquent les contours des spores entières.

Les contours irréguliers des macrospores peuvent être expliqués de la même façon que ceux des figures 10<sup>t</sup>, 12<sup>t</sup>, 14<sup>t</sup>, et 16<sup>t</sup>.

En particulier, l'allure très irrégulière de la spore de la Fig. 20<sup>t</sup> trouve son explication dans les plissements de certaines exines en sections verticales. (Voir : Fig. 29<sup>t</sup> et Fig. 130, Pl. XXV).

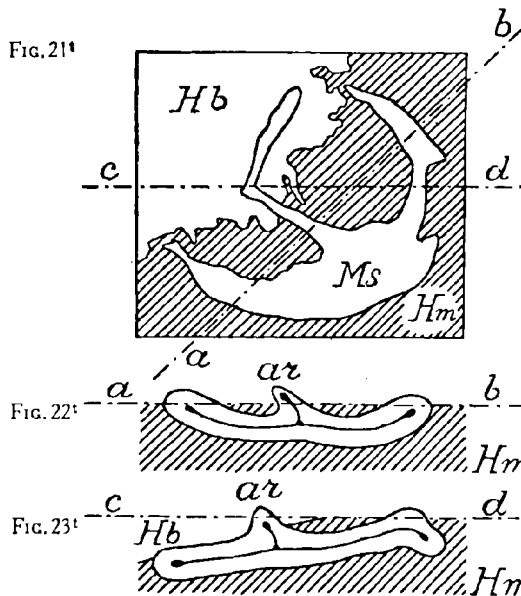
tués, (Pl. II, Fig. 5, Ms, Ms<sub>1</sub> ; Fig. 6 ; Fig. 7, Ms, Pl. III, Fig. 11, Ms). Une section horizontale peut couper un ou plusieurs de ces bourrelets et n'intéresser seulement qu'une partie des bords ou des faces de la spore. De telles sections permettent de se rendre compte des formes tétraédriques de certaines spores. (Pl. II, Fig. 5, Ms et Ms<sub>1</sub> ; Fig. 6, Fig. 8, Ms), (Fig. 14<sup>t</sup>, 18<sup>t</sup> et 21<sup>t</sup>).

Lorsque le plan de la coupe coïncide sensiblement avec l'une des faces planes du tétraèdre, la section peut devenir assez irrégulière (Pl. II, Fig. 7, Ms ; Pl. III, Fig. 10, Ms), mais apparaît le plus souvent sous la forme d'un triangle à côtés curvilignes (Pl. II, Fig. 7 ; Pl. III, Fig. 10 Ms<sub>2</sub> ; Fig. 11, Ms<sub>2</sub>) ou d'un demi cercle, (Pl. I, Fig. 4, Ms), (Fig. 10<sup>t</sup>, 12<sup>t</sup> et 19<sup>t</sup>).

Enfin, comme il arrive fréquemment, lorsque la spore n'est pas étalée dans un plan et que son exine est coudée ou fortement plissée, une surface polie peut ne la couper que suivant

une partie assez restreinte et dans ces conditions les macrospores apparaissent alors sous forme de demi cercle (Pl. III, Fig. 10,  $Ms$ ,  $Ms_1$ ,  $Ms_2$ , Fig. 12,  $Ms$ ,) de croissant (Pl. I, Fig. 2,  $Ms$ ; Fig. 4,  $Ms$ - $Ms_1$ , Pl. II, Fig. 7) et possèdent parfois des contours très irréguliers (Pl. II, Fig. 9,  $Ms$ ,  $Ms_1$ ). Divers types de contours irréguliers sont représentés par les figures 10<sup>t</sup> à 23<sup>t</sup>.

On voit par cet exposé et par les microphotographies figurant sur les planches I à III que les macrospores présentent en sections horizontales des contours très différents suivant



Schémas expliquant les contours très irréguliers d'une macrospore en section horizontale.

FIG. 21<sup>t</sup>. — Macrospore ( $Ms$ ) occupant la partie centrale de la Fig. 8 (Pl. II), partiellement enrobée dans la houille brillante ( $Hb$ ) et dans la houille mate ( $Hm$ ) et présentant dans ces deux constituants des contours très irréguliers. (*s. horizontale*).

FIG. 22<sup>t</sup>. — Section verticale hypothétique représentant la macrospore  $Ms$  (Fig. 21<sup>t</sup>) suivant la direction  $a b$ . Cette coupe n'intéresse que la houille mate ( $Hm$ ).

FIG. 23<sup>t</sup>. — Section verticale hypothétique suivant la direction  $c d$  (Fig. 21<sup>t</sup>), passant dans la houille brillante ( $Hb$ ) et dans la houille mate ( $Hm$ ).

L'allure de l'exine de spore de la Fig. 21<sup>t</sup> s'explique par la présence de bourrelets correspondant aux arêtes épaissies du tétraèdre ( $ar$ ) et par des dépressions de trois des faces planes du dit tétraèdre.

Dans les figures 22<sup>t</sup> et 23<sup>t</sup> les droites  $a b$  et  $c d$  représentent les traces du plan de la Fig. 21<sup>t</sup>.

les circonstances et qu'il est très difficile dans de telles sections de se rendre compte si l'on a affaire à des lambeaux de macrospores ou à une partie seulement d'une macrospore entière figurant dans la section envisagée, mais se développant dans d'autres plans.

Comme nous le verrons plus loin toutes ces macrospores sont dépourvues de leur contenu et leurs exines se sont vidées par une sorte de clapet que l'on peut observer en section horizontale. Ces clapets sont limités par une ligne de déhiscence souvent onduleuse qui existe dans la plupart des macrospores, mais qui est particulièrement nette dans la figure 3 de la Planche I ( $Ms_1$ ,  $Ld$ ).

### b — Aspect des macrospores en sections verticales.

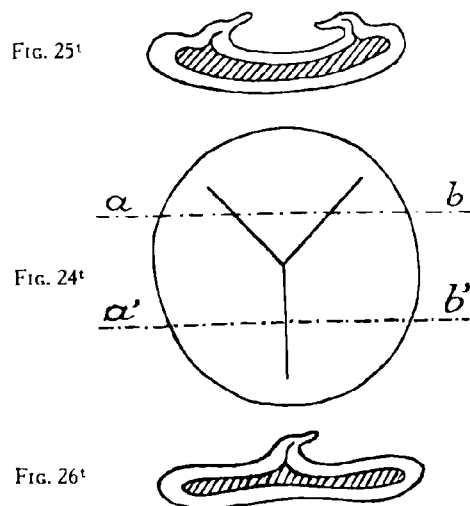
(perpendiculaires au plan de stratification de la couche de houille).

#### PLANCHES V A XI

L'examen des macrospores en coupe verticale, c'est-à-dire en sections perpendiculaires au plan de stratification des couches de houille, montre que ces organites affectent la forme de sacs aplatis dont les cavités sont plus ou moins réduites.



Les exines cutinisées, seules fossilisées, présentent généralement une épaisseur régulière dans une même spore, elles sont tantôt étalées parallèlement au plan de stratification (Pl. V, Fig. 18, 20, 21, 22 et 23, Pl. VI, Fig. 24 à 27, Pl. VII, Fig. 28 à 36, Pl. VIII, Fig. 37 à 44,



Figures schématiques montrant les rapports existant entre les arêtes tétraédriques épaissies des macrospores et certaines protubérances observées dans les sections verticales.

FIG. 24<sup>t</sup>. — Macrospore en section horizontale montrant la disposition en Y des arêtes du tétraèdre (d'après les Fig. 5 (*Ms*) et 6, Pl. II).

FIG. 25<sup>t</sup>. — Section verticale hypothétique suivant  $\alpha$   $b$  schématisant la structure observée sur la Fig. 19 (Pl. V) où la macrospore *Ms*<sub>1</sub> montre deux digitations sur sa face supérieure.

FIG. 26<sup>t</sup>. — Section verticale hypothétique suivant  $\alpha'$   $b'$  schématisant les contours de la macrospore *Ms* de la Fig. 20 (Pl. V) qui porte à sa partie supérieure une seule protubérance correspondant à une arête tétraédrique. (Voir aussi, Pl. X, Fig. 51, *Ms*).

Pl. X, Fig. 49 et 50 ; Pl. XLI, Fig. 214, Pl. XLII, Fig. 216, Pl. XLIII, Fig. 218 et 219), tantôt légèrement obliques sur cette même direction (Pl. V, Fig. 19). Elles peuvent être plus

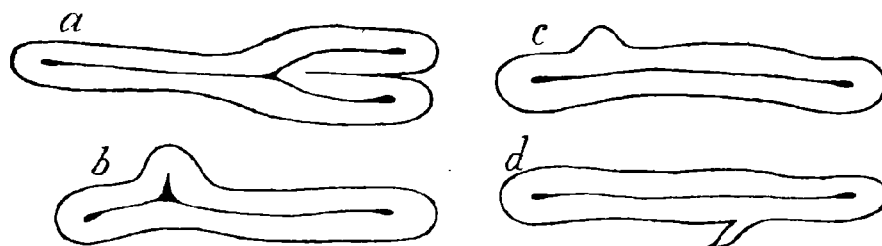


FIGURE 27<sup>t</sup>. — Aspects particuliers de certaines macrospores en sections verticales.

- a. — Section en Y couché. (Pl. VII, Fig. 31, *Ms*).
  - b. — Exine montrant un bourrelet où pénètre la cavité ou lumière de la spore (Pl. VII, Fig. 32 *Ms* ; Pl. X, Fig. 51, *Ms*).
  - c. — Exine à bourrelet massif où ne pénètre pas la cavité de la spore (Pl. V, Fig. 20, *Ms* ; Pl. VII, Fig. 29, *Ms*<sub>1</sub> ; Pl. XXV, Fig. 129, *Ms*).
  - d. — Exine à bourrelet très digité. (Pl. V, Fig. 19, *Ms*<sub>1</sub> ; Pl. VII, Fig. 29, *Ms*).
- Les bourrelets des exines b, c et d correspondent aux arêtes épaissies du tétraèdre. (Voir les Fig. 24<sup>t</sup> à 26<sup>t</sup>).

ou moins coudées ou repliées sur elles-mêmes (Pl. V, Fig. 18, *Ms*<sub>1</sub>, *Ms*<sub>2</sub>, Pl. VIII, Fig. 41 et 42, *Ms*<sub>1</sub>), les aspects les plus fréquents étant ceux représentés par la figure 27<sup>t</sup>.

Par suite des épaisseurs uniformes des parois et du fait que les spores primitivement sphéri-

ques ou subsphériques se trouvent aplaties leurs deux extrémités sont régulièrement arrondies, caractère qui les différencie des cuticules des feuilles qui présentent un bord coupant.

Les formes en tétraèdres de certaines macrospores sont bien visibles en sections verticales où les arêtes tétraédriques apparaissent sous l'aspect de bourrelets et de replis de l'exine (Pl. V, Fig. 20 Ms) ou de protubérances simples ou doubles (Pl. V, Fig. 19, Ms<sub>1</sub>) suivant que la

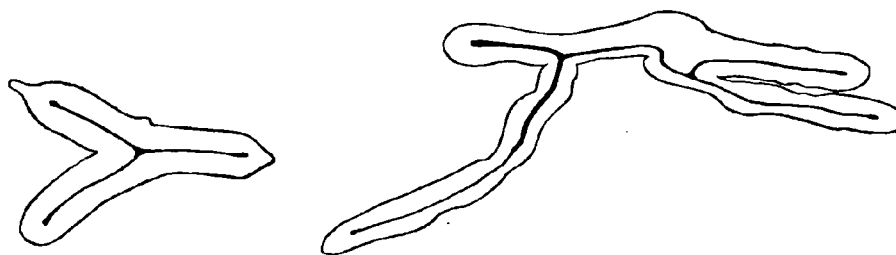
FIGURE 28<sup>t</sup>FIGURE 29<sup>t</sup>

FIG. 28<sup>t</sup>. — Section verticale d'une exine de macrospore présentant l'aspect d'un Y (d'après Ms<sub>1</sub>, Fig. 127, Pl. XXV).

FIG. 29<sup>t</sup>. — Section verticale d'une exine de macrospore fortement plissée (d'après la Fig. 130, Pl. XXV). La partie gauche de cette exine a l'aspect d'un Y irrégulier, mais analogue à celui visible sur la Fig. 28<sup>t</sup>. L'extrémité droite affecte l'allure d'un Y à branches rapprochées semblable à celui représenté par la Fig. 27<sup>a</sup>.

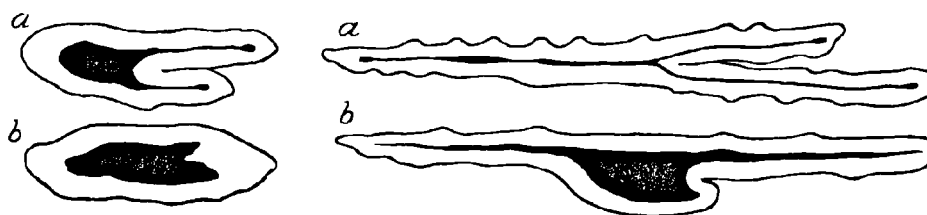
FIGURE 30<sup>t</sup>FIGURE 31<sup>t</sup>

FIG. 30<sup>t</sup>. — Sections verticales d'exines de macrospores à cavités assez vastes.

a. — Exine affaissée et repliée sur elle-même. (Pl. V, Fig. 18, Ms<sub>1</sub> ; Pl. VIII, Fig. 40, Ms<sub>1</sub>).

b. — Exine à cavité assez vaste coupée obliquement dans sa partie droite où la paroi paraît très épaisse (Pl. V, Fig. 19).

FIG. 31<sup>t</sup>. — Sections verticales d'exines de macrospores dont les parois externes sont ornées de mamelons.

a. — Spore à section en Y à cavité très réduite (Pl. VII, Fig. 30).

b. — Spore à cavité assez vaste (Pl. VII, Fig. 36).

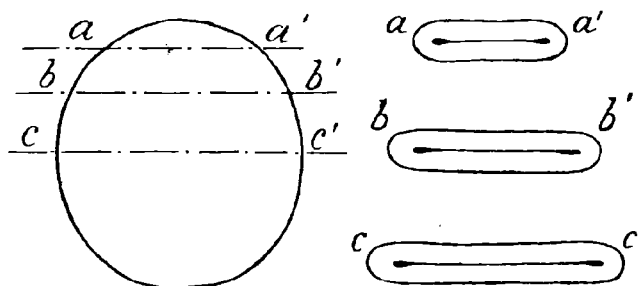
section coupe une seule ou deux de ces arêtes. (Voir les figures schématiques 24<sup>t</sup> à 26<sup>t</sup>, 27<sup>t</sup>, b, c, d).

Les sections en Y couché (Pl. V, Fig. 18, Pl. VII, Fig. 31, Pl. VIII, Fig. 37, Ms<sub>2</sub> et figure schématique (27<sup>t</sup>, a) et celles où les exines sont fortement repliées sur elles-mêmes (Fig. 30, 41, Ms ; 42, Ms<sub>1</sub> ; Pl. VII et VIII) (Fig. 28<sup>t</sup> à 31<sup>t</sup>), représentent également des cas particuliers d'aplatissement des exines de spores en rapport avec leurs formes tétraédriques.

Les sections de macrospores présentent en coupes verticales des dimensions linéaires

très variables qui trouvent leur explication dans les contours circulaires et ovoïdes des spores. Suivant que la surface polie coupe ces dernières dans le voisinage d'un diamètre ou dans celui d'une corde, la longueur de la section varie sensiblement pour une même macrospore ou pour des macrospores identiques, comme le montrent les figures 32<sup>t</sup> et 33<sup>t</sup> du texte. Les différentes figures de la planche V permettent d'observer un grand nombre de sections de longueurs différentes appartenant à des spores semblables entre elles.

Les cavités ou *lumières* des macrospores sont plus ou moins vastes suivant leur degré d'aplatissement. Celles assez vastes des spores ayant conservé une structure globuleuse (Pl. V, Fig. 19) sont relativement rares. Le plus souvent les lumières des macrospores sont beaucoup moins importantes, les parois inférieures et supérieures étant sensiblement parallèles (Pl. V, Fig. 18,

FIGURE 32<sup>t</sup>FIGURE 33<sup>t</sup>

Schémas expliquant les variations de dimensions d'une même macrospore suivant la position des plans verticaux qui contiennent les différentes sections.

FIG. 32<sup>t</sup>. — Macrospore en section horizontale. Les droites  $aa'$ ,  $bb'$  et  $cc'$  représentent les traces des plans des trois sections verticales de la Fig. 33<sup>t</sup>.

FIG. 33<sup>t</sup>. — Sections verticales de la spore de la FIG. 32<sup>t</sup> suivant les trois plans parallèles dont les traces sont  $aa'$ ,  $bb'$  et  $cc'$ .

Ms), elles deviennent fréquemment virtuelles par suite de l'accroissement des deux parois de l'exine (Pl. V, Fig. 20 et 22). Dans certains cas il ne subsiste plus que quelques traces de cette cavité qui peut même avoir complètement disparu (Pl. V, Fig. 22).

Lorsque les cavités des macrospores sont assez vastes elles sont remplies par la pâte (substance fondamentale) qui tient fréquemment en suspension des microspores (Pl. V, Fig. 19).

Les sections verticales permettent de se rendre compte qu'à côté des exines de spores entières, il existe de nombreux fragments de macrospores de dimensions et d'aspects différents suivant les conditions de leur morcellement (Pl. V, VI, VII et VIII). A côté du morcellement des spores, au cours des phénomènes de dépôt, il y a lieu de signaler celui qui résulte de la présence de failles qui ont modifié secondairement l'alignement des corps figurés (Pl. VII, Fig. 28.) et celui déterminé par le retrait de la masse plastique au cours de sa dessiccation (Pl. LVII, figure 274). Ces caractères nous montrent que les sections incomplètes de macrospores observées en coupe horizontale correspondent tantôt à de véritables fragments et tantôt à des sections de spores étalées obliquement par rapport au plan de la surface polie étudiée.

Les spores des Fig. 127 (Ms<sub>1</sub>) et 130 (Ms) (Pl. XXV) schématisées par les Fig. 28<sup>t</sup> et 29<sup>t</sup> présenteraient, en sections horizontales, des contours très irréguliers tels que ceux que l'on observe sur les figures 14<sup>t</sup>, 18<sup>t</sup>, 20<sup>t</sup> et 21<sup>t</sup> ou sur les microphotographies correspondantes.

### c — Différentes variétés de Macrospores.

Les macrospores sont de tous les corps figurés de la houille ceux qui étaient les mieux connus antérieurement aux présentes recherches, leurs dimensions relativement grandes et la transparence de leur substance jaune ou orangée en lames minces rendant leur observation particulièrement facile.

Décrites et figurées sinon interprétées correctement par REINSCH [509 à 517] dès 1880 elles ont été reproduites depuis par les procédés microphotographiques par C. EG. BERTRAND [66] et B. RENAULT [527] qui ont démontré leur présence dans les Cannel Coals (Gayets) et dans une houille (houille bitumineuse d'Hardinghen). Plus récemment elles ont été représentées en lames minces par M.M. J. LOMAX [423 à 427] et TH. LANGE [372] et en sections minces par M. JEFFREY [344]. Elles ont pu être isolées grâce au procédé des macérations par M.M. THIESSEN [639] et ZERNDT [713 à 715].

Déjà dans l'ouvrage cité [527] B. RENAULT avait signalé l'existence de macrospores de types différents qui trouvaient leur explication dans la diversité d'origine des échantillons étudiés. Au cours de ces dernières années M.M. THIESSEN [639, 648 à 650] LANGE [372] et ZERNDT [713 à 715] ont décrit plusieurs variétés de macrospores et ont cru pouvoir utiliser les divers types de spores pour caractériser les différentes veines étudiées.

L'étude de surfaces polies de houille examinées au microscope métallographique, permet de se rendre compte que les macrospores des houilles examinées appartiennent à différents types caractérisés par leur taille, l'épaisseur de leurs parois ou l'ornementation de ces dernières.

On peut ainsi distinguer suivant leur taille et leur ornementation.

#### I. — MACROSPORES A PAROIS LISSES

1° — Des *macrospores de grandes tailles* dont les dimensions linéaires dépassent un millimètre. Elles sont relativement rares et se divisent elles-mêmes en deux catégories suivant l'épaisseur de leurs parois.

α. — *Macrospores de grandes tailles à parois épaisses* (Pl. VIII, Fig. 40) rappelant par leurs dimensions celles du Spore-Coal de Micklefield près Leed ([182], Pl. V, fig. 21) et de la Houille de Puertollano [204].

β. — *Macrospores de grandes tailles à parois minces* (Pl. VII, Fig. 29, Fig 32 à 36, Pl. VIII Fig. 41 et 42 ; Pl. X, Fig. 50).

2° — *Macrospores de tailles moyennes* dont les dimensions linéaires sont voisines de 0<sup>mm</sup>75. Ce sont de beaucoup les plus nombreuses, on les rencontre indifféremment dans toute la série des veines de houille formées par accumulation de spores (Pl. V et Pl. VI). On peut également les subdiviser en deux catégories suivant l'épaisseur de leurs parois.

3° — *Macrospores de petites tailles* dont les dimensions linéaires ne dépassent guère 0<sup>mm</sup>60. Ces macrospores ne sont pas très fréquentes et sont associées aux précédentes.

## II. — MACROSPORES A PAROIS ORNEMENTÉES

Ces macrospores sont rares dans le Bassin houiller du Nord de la France. La veine Sainte-Barbe bis de la Cie des Mines d'Aniche m'en a fourni un bon exemple représenté par la figure 30 de la planche VII. Une autre veine inconnue des Mines d'Aniche recoupée dans le fonçage de la Fosse Delloye n° 2 (Pl. VII, Fig. 35) et un échantillon de houille de la fosse la Glaneuse d'Hardinghen (Pl. VII et VIII, Fig. 36 et 42) m'ont seuls permis d'observer des spores analogues.

Les ornements de ces spores apparaissent en sections verticales sous forme d'épaississements de l'exine cutinisée dont la surface externe se trouve couverte de mamelons ou d'aspérités figure schématique 31<sup>b</sup>).

Beaucoup de spores actuelles présentent de tels ornements qui jouent un certain rôle dans leur dissémination en augmentant leur faculté d'adhérence et en facilitant leur transport par (les animaux (insectes par exemple).

De telles spores malgré leur rareté ne peuvent être considérées comme étant caractéristiques de certaines couches de houille car, comme le montrent les figures 30, 35 et 36, on les rencontre aussi bien dans des houilles très anciennes (Hardinghen) et beaucoup plus récentes (Aniche).

La présence de macrospores de différents types dans nos veines de houille n'a rien qui doive nous étonner, car l'étude de leur toit nous révèle que la flore des forêts qui leur ont donné naissance comprenait des plantes d'espèces différentes dont les spores devaient présenter des caractères propres à chacune d'elles.

D'autre part, il convient de faire remarquer que, comme nous le verrons plus loin, les végétaux houillers, qui étaient tous des plantes de marécages, voyaient leurs conditions de vie continuellement modifiées par les mouvements du sol qui entraînaient constamment le déplacement des lignes de rivage. Dans ces circonstances certaines d'entre elles se développant dans des conditions défavorables (proximité de la rive ou trop grande épaisseur de la lame d'eau) ont pu présenter des caractères pathologiques et en particulier donner naissance à des spores plus petites que celles de l'espèce normale.

La distinction des différentes variétés de macrospores ne présente dans le Bassin houiller du Nord qu'un intérêt purement théorique et est dépourvue de toute importance pratique, car non seulement des veines voisines contiennent des spores absolument identiques, mais encore des veines d'âges très différents présentent ce même caractère.

C'est ainsi que la macrospore Ms<sub>1</sub> de la figure 42 de la planche VIII est identique à Ms de la Figure 41 de cette même planche. Or la figure 42 représente une houille de la fosse la Glaneuse d'Hardinghen et par conséquent d'âge très ancien (base de l'assise de Vicoigne) tandis que la figure 41 montre la structure d'un charbon d'Aniche de formation beaucoup plus récente (base de l'assise d'Anzin). Les spores représentées par la figure 37 de cette même planche (Ms<sub>1</sub> en particulier) sont presque identiques aux précédentes bien qu'appartenant à une houille de Bruay provenant de la zone inférieure de l'Assise de Bruay.

Les autres microphotographies de la planche VIII nous permettent d'observer des faits analogues.

D'autre part, comme nous le verrons plus loin au cours des développements réservés dans ce travail à la description des charbons de certaines veines de houille, les macrospores gardent des aspects semblables et des dimensions très voisines dans toutes les veines successives d'un même gisement (toutes les veines exploitées dans la concession de Bruay sauf celles du siège n° 2 bis par exemple).

En résumé, l'étude des macrospores des Veines de houille du Nord de la France et d'un certain nombre d'autres gisements m'a permis de distinguer un certain nombre de variétés de macrospores analogues à celles décrites récemment par M. TH. LANGE [372] qui a examiné par la méthode des lames minces divers charbons de Haute Silésie <sup>(1)</sup>; macrospores qu'il désigne par les termes : « *Alphasporen* » ; « *Betasporen* » et « *Knotensporen* » en subdivisant les deux premières catégories en « *dickhäutig* » (spores à parois épaisses) et « *dünnhäutig* » (spores à parois minces). A ce point de vue nos recherches simultanées poursuivies par des méthodes différentes et s'appliquant à des charbons d'origines diverses ont abouti aux mêmes résultats en ce qui concerne la morphologie des macrospores houillères.

Par contre, au cours de mes recherches qui ont porté sur un très grand nombre de veines de houille, de gisements très divers et sur une importante série de veines d'un même gisement il m'a été impossible de distinguer les couches de houille par les caractères de leurs macrospores, caractères qui sont susceptibles de varier dans une même couche, soit sur une même verticale, soit sur une même horizontale, alors que des veines de houille d'âges très différents peuvent contenir des macrospores quasi identiques.

Mes observations enlèvent donc une partie de son intérêt au travail statistique que certains ont préconisé à l'imitation des analyses polliniques pratiquées par les spécialistes de l'étude des tourbes. Dans l'état actuel de nos connaissances il ne semble pas que l'établissement d'un catalogue général des spores d'un gisement puisse permettre le raccordement des veines de houilles et des lambeaux de veines de houille.

Sauf dans quelques cas très particuliers un tel catalogue ne paraît pas appelé à rendre à l'exploitation houillère et à la stratigraphie des gisements de charbon les services que certains auteurs ont cru pouvoir lui demander. Dans ce domaine la paléontologie stratigraphique animale et végétale basée sur l'étude des fossiles des toits semble bien devoir garder le rôle de premier ordre qu'elle s'est acquis aujourd'hui <sup>(2)</sup>.

## B

### Les Microspores.

#### PLANCHES I A XI.

Comme je l'ai indiqué précédemment les microspores présentent, dans une espèce donnée, les caractères d'être beaucoup plus nombreuses et de dimensions beaucoup plus faibles que les macrospores.

Les microspores des plantes houillères n'échappaient pas à cette règle et un simple examen

(1) Voir en particulier le tableau II de l'étude de M. TH. LANGE.

(2) Voir en particulier à ce sujet : R. VIGIER [661].

des figures des planches I à XI permet de s'en rendre compte. (Voir en particulier les figures 1 à 4 (Pl. I) ; 5 à 9 (Pl. II) ; 10 à 12 (Pl. III) ; 18, 19, 21, 22 (Pl. V), 24 à 27 (Pl. VI), 38 (Pl. VIII), 45, 46 et 47 (Pl. IX) ; 49 et 50 (Pl. X). Cette extrême abondance des microspores est encore mise en relief par la fréquence des lits de houilles où elles existent seules (Pl. IX, Fig. 45 à 48), par rapport aux lits qui contiennent des macrospores en assez grand nombre <sup>(1)</sup>.

Les microspores présentent, aux dimensions près, les mêmes caractères que les macrospores et sont comme elles réduites à leurs exines cutinisées. Elles affectent la forme de petits sacs aplatis parallèlement au plan de stratification et offrent en sections horizontales et verticales les mêmes contours que les spores femelles. Tout ce que j'ai dit concernant ces dernières peut leur être appliqué et je me bornerai à les décrire rapidement en signalant quelques légères différences en rapport avec les variations des dimensions respectives.

#### a — Aspects des Microspores en sections horizontales.

*(parallèles au plan de stratification)*

##### PLANCHES I A IV.

Les exines de microspores se présentent le plus souvent en sections horizontales sous forme de petits disques ou de petites couronnes suivant que la coupe passe par leur paroi cutinisée ou par leur cavité (lumière). Les sections en forme de cercle plein ou d'anneau complet sont beaucoup plus fréquentes parmi elles que parmi les macrospores caractère qui s'explique facilement par le fait qu'étant de dimensions très réduites un même plan a beaucoup plus de chance de les couper en entier. Les aspects des microspores à grossissements assez forts ( $\times 250$ ) et fort ( $\times 1.020$ ) sont représentés par les figures 14 à 17 de la planche IV.

Étant données leurs tailles, les microspores possédaient des parois cutinisées relativement plus épaisses que les macrospores et étaient par conséquent mieux protégées. Elles pouvaient ainsi supporter des vicissitudes plus variées qu'elles étaient susceptibles de subir au cours du transport à longue distance que leur permettaient leurs dimensions exigües.

Dans certains cas, soit qu'elles se trouvent étalées parallèlement à un plan légèrement oblique par rapport à celui de la section, soit que leur exine présente des plissements plus ou moins accentués, les microspores apparaissent en sections horizontales sous forme de disques ou d'anneaux incomplets, de croissants ou de fragments à contours très irréguliers. (Fig. 14 à 17, Pl. IV).

Les sections horizontales permettent de se rendre compte qu'il existe dans une même houille des microspores de tailles très différentes (Pl. IV, Fig. 15 et 17) et appartenant par conséquent à diverses catégories sur lesquelles je reviendrai plus loin.

(1) Le souci de figurer le plus grand nombre possible de macrospores m'a incité à publier surtout des microphotographies de lits contenant en même temps les deux types de spores. Ce serait faire une interprétation fautive que de déduire, du fait que les figures représentant uniquement des lits de microspores sont peu nombreuses (Fig. 45 à 48), que les lits qui ne contiennent que des microspores sont moins fréquents que les autres.

## b — Aspect des Microspores en sections verticales.

(perpendiculaires au plan de stratification).

### PLANCHES V A XI.

En sections verticales les microspores apparaissent exactement comme les macrospores sous formes de petits sacs aplatis, à extrémités régulièrement arrondies, étalés parallèlement au plan de stratification rappelant par leurs contours les macrospores et ne s'en distinguant que par leurs dimensions.

Les exines de microspores sont souvent bien étalées parallèlement au plan de stratification et non plissées, mais peuvent occuper des positions plus ou moins obliques par rapport à cette direction et présenter des plissements plus ou moins accentués (Pl. XI, Fig. 53 à 57).

Les cavités des microspores peuvent être assez vastes et remplies par la pâte de la houille (substance fondamentale) (Pl. XI, Fig. 57 ms), mais deviennent souvent virtuelles par suite de l'accolement des parois (Pl. XI, Fig. 54, ms, Fig. 56, ms).

Enfin les sections verticales nous permettent d'observer que les exines de microspores sont fréquemment fragmentées et réduites à l'état de débris plus ou moins informes. (Pl. XI, Fig. 53 à 57).

Les figures 54 et 56 de la Planche XI montrent des sections de microspores vues à un grossissement de 1.020 diamètres qui pourraient facilement à première vue être prises pour des macrospores examinées à un grossissement moyen ( $\times 100$  par exemple). Leur comparaison avec les figures des Planches V à IX souligne bien les grandes analogies de structures qui existent entre les deux grandes classes de spores qui ne se distinguent guère que par leurs dimensions.

## c — Différentes variétés de microspores.

Les microspores comme les macrospores peuvent être divisées en plusieurs catégories suivant leurs dimensions et les aspects de leurs exines. On peut ainsi distinguer :

### I. — MICROSPORES A PAROIS LISSES.

1°. — *Microspores de grandes tailles*, dont les dimensions linéaires dépassent 30 microns. De telles microspores atteignent parfois 70 microns et peuvent présenter des parois plus ou moins épaisses (Pl. XI, Fig. 54 et 56).

2°. — *Microspores de tailles moyennes* dont les dimensions sont voisines de 30 microns. Ce sont de beaucoup les plus nombreuses (Pl. XI, Fig. 53, 55, ms<sub>1</sub> et 57, ms).

3°. — *Microspores de petites tailles* dont les dimensions sont inférieures à 20 microns (Pl. IV, Fig. 14 à 17, Pl. XI, Fig. 55 et 57) et peuvent descendre jusqu'à 6 microns (Pl. XI, Fig. 55).

L'observation montre qu'il existe des microspores de toutes dimensions entre les limites indiquées. En section verticale il y a lieu de faire les mêmes réserves que pour les macro-



spores, quant à leurs dimensions linéaires, une même spore pouvant offrir des longueurs différentes selon que la préparation la coupe suivant un diamètre ou une corde proche du cercle. Dans le cas de deux sections de ce genre la constance d'épaisseur des exines permet de se rendre compte que l'on a affaire à des spores semblables bien que ne présentant pas des développements linéaires identiques, (Fig. 32<sup>t</sup> et 33<sup>t</sup>).

## II. — MICROSPORES A PAROIS ORNEMENTÉES.

Ces microspores sont assez rares dans le Bassin houiller du Nord et se distinguent des précédentes par la présence de mamelons et de protubérances à la surface de leur exine (Pl. XI, Fig. 54 et 57). Elles peuvent présenter toutes les dimensions des spores précédentes.

Ces différents types de microspores se rencontrent indifféremment dans une même houille et leur distinction ne présente pas plus d'intérêt pratique que celle des macrospores. Tout ce que j'ai dit sur ces dernières peut leur être appliqué.

## C

### Modes de gisement des Spores.

#### *Leur stratification et leur classement.*

Les macro et les microspores houillères ayant des origines et des modes de gisement identiques je traiterai successivement ces deux questions dans les deux paragraphes suivants.

Contrairement à ce que l'on admettait jusqu'ici, les spores n'existent pas indifféremment dans toutes les variétés de houille. Au moins en ce qui concerne notre Bassin houiller du Nord de la France elles caractérisent le type le plus fréquent <sup>(1)</sup> des houilles à hautes teneurs en matières volatiles (h. flambantes, h. grasses à gaz et h. grasses maréchaux) que l'on exploite sur la bordure sud du gisement.

J'ai pu constater la même localisation des spores dans toutes les veines de houille de ce type appartenant à d'autres gisements, quels que soient leur origine et leur âge (Pl. VIII, Fig. 37 à 44), en particulier dans le Bassin houiller belge, dans le centre de la France, dans la Sarre, en Angleterre et en Espagne.

L'étude des causes qui ont pu amener cette localisation devant faire l'objet d'un développement particulier, je me bornerai à étudier ici la distribution des spores dans les veines de houille et les caractères constants qu'elles présentent.

Les veines de houille qui contiennent des spores sont caractérisées par l'extrême abondance de ces organismes, qui dans la plupart des cas forment la majeure partie de leur masse (Pl. XL, Fig. 208 et 210, Pl. XLI à XLIII), à tel point que les autres corps figurés (corps résineux, cuticules, tissus ligneux) peuvent le plus souvent être considérés comme des quotités négligeables. Dans ces conditions, certaines veines de houilles de ce type atteignant dans notre gisement des

(1) L'autre type est représenté par les charbons de cuticules, que nous étudierons plus loin.

épaisseurs de 1<sup>m</sup>50 et étant formées presque exclusivement par des dépôts de spores, on se rend immédiatement compte des quantités prodigieuses de ces organites que les plantes houillères ont dû fournir pour permettre de telles accumulations.

Ces quantités étaient d'autant plus considérables que les spores qui ont déterminé la formation des couches de houille en question ne représentent qu'une partie seulement de celles réellement produites par les plantes, partie qui immergée dans des eaux trop profondes pour pouvoir germer a subi la fossilisation grâce à certaines circonstances que nous étudierons plus loin. A ces spores fossilisées il faut ajouter, d'une part, celles qui placées dans de bonnes conditions ont donné naissance à des prothalles et à de nouvelles plantes feuillées et, d'autre part, toutes celles qui entraînées par les vents vers les aires continentales y ont subi la destruction totale.

Ces considérations nous conduisent à admettre une production intensive des spores dont les pluies de pollen actuelles et même celles qui ont frappé l'imagination des hommes (pluies de soufre) ne nous donnent qu'une bien faible idée. Comme nous le verrons plus loin cette production intensive des spores était nécessaire pour permettre la dissémination et la reproduction des plantes houillères.

Comme je l'ai déjà dit plus haut les spores forment dans les veines qui les contiennent la majeure partie des corps figurés alors que les fragments de tissus ligneux ne représentent que des quantités négligeables. Ce caractère montre clairement que ces organites ne se sont pas déposés sur un sol de végétation car dans ce cas on devrait rencontrer associés avec eux les racines des végétaux en place et de nombreux débris de branches, de tiges et de tissus ligneux. L'hypothèse d'une formation strictement sur place des charbons de spores supposerait du reste que les végétaux gigantesques de l'époque houillère ont pu s'enraciner dans un sédiment plastique formé uniquement par des spores enrobées dans une pâte colloïdale, ce qui au point de vue purement mécanique n'est guère admissible.

D'autre part, la localisation des spores dans certaines houilles pauvres en débris ligneux, l'absence de ces mêmes spores dans les houilles riches en débris ligneux doivent être rapprochées des faits observés dans les schistes où ces deux types de débris végétaux se trouvent également répartis dans deux variétés lithologiques différentes, les schistes bitumineux à spores et les schistes charbonneux à nombreux fragments de bois flottés. Dans les houilles comme dans les schistes les deux types de corps figurés semblent donc bien avoir été sélectionnés grâce à un triage mécanique qui implique forcément l'idée d'un certain transport si léger soit-il.

Cette thèse d'un classement mécanique des débris végétaux trouve du reste sa confirmation dans le mode de distribution des différentes variétés de spores dans les divers lits élémentaires des veines de houille de spores parmi lesquels on peut distinguer les trois types suivants.

1<sup>o</sup> — Des *lits riches en macrospores*, relativement moins fréquents que les autres lits. Ce n'est qu'assez rarement que les macrospores dominent et forment à elles seules la quasi totalité d'un lit élémentaire ou d'un amas comme celui représenté par la figure 24 (Ms<sub>1</sub>, Planche VI). Dans la grande majorité des cas les microspores sont extrêmement abondantes à côté des macrospores nombreuses. (Pl. I à X et XL à XLIII).

2<sup>o</sup> — Des *lits pauvres en macrospores* où les spores femelles existent, mais sont beaucoup moins nombreuses que dans les lits précédents, l'élément constitutif essentiel, les microspores,

l'emportant de beaucoup. Ce sont les lits les plus fréquents figurés abondamment parmi les microphotographies des planches consacrées à la représentation des charbons de spores (Pl. I à X et XL à XLIII) <sup>(1)</sup>.

3<sup>o</sup> — Des lits contenant exclusivement des microspores et des régions importantes de lits où les spores mâles existent seules à l'exclusion des spores femelles. (Fig. 45, 47 et 48, Pl. IX). Ces lits ou ces portions de lits sont de beaucoup les plus nombreux <sup>(2)</sup>.

Si l'on ajoute à ces faits d'observation que les Cannel-Coals (Gayets) sont constitués par des couches formées pratiquement de microspores et ne contenant qu'exceptionnellement des macrospores et que certaines houilles, relativement rares, contiennent en même temps de nombreux fragments de bois et des macrospores assez abondantes alors qu'elles sont dépourvues de microspores ; on ne peut que constater un classement des débris végétaux opéré rigoureusement dans l'ordre de leur légèreté et de leur coefficient de transportabilité <sup>(3)</sup>, classement qui suppose lui même l'action prédominante des facteurs de transport dans la genèse de ce type des houilles de cutine.

## D

### Origines des Spores des houilles.

L'étude morphologique des spores des houilles du Nord de la France montre que les caractères distinctifs qui m'ont permis de reconnaître différentes variétés de macrospores et de microspores sont insuffisants lorsqu'il s'agit d'attribuer aux cellules reproductrices des plantes houillères une origine certaine.

Cette origine qui ne peut être déduite de l'examen des spores elles-mêmes peut néanmoins être établie d'une façon assez précise grâce aux connaissances acquises par les paléobotanistes qui ont étudié la flore houillère. Si les caractères des spores et du pollen de la plupart des plantes houillères nous sont à peu près inconnus, ceux des appareils reproducteurs de ces végétaux le sont suffisamment pour permettre les conclusions suivantes concernant les origines des cellules reproductrices que l'on trouve partiellement fossilisées dans certaines veines de houille :

1<sup>o</sup> — Les *Macrospores* de la houille proviennent surtout des *Lycopodiacées arborescentes* (Lepidodendrons, Sigillaires, etc.) et peut être des *Equisétacées arborescentes* (Calamariées) qui étaient toutes des arbres gigantesques atteignant fréquemment trente mètres de hauteur se reproduisant au moyen de deux sortes de spores.

2<sup>o</sup> — Les corps que j'ai désignés dans la houille par le terme générique de *Microspores*

(1) Voir notamment les figures 21, 22 (Pl. V) ; 27 (Pl. VI) ; 38, 43 (Pl. VIII) ; 46 (Pl. IX) etc...

(2) Malgré leur grande fréquence les lits de ce type (3<sup>o</sup>) ne sont représentés dans cet ouvrage que par quelques figures, cette représentation offrant moins d'intérêt que celle des lits mixtes (1<sup>o</sup> et 2<sup>o</sup>) qui bien que plus rares permettent de mieux observer le mécanisme de la formation des couches de houille.

(3) Par coefficient de transportabilité j'entends l'ensemble des caractères propres à chaque type de débris végétaux qui les rendent plus ou moins aptes à être entraînés au loin par les agents naturels de transport. Je reviendrai sur ce point dans un chapitre ultérieur. Je me bornerai à rappeler ici qu'un coefficient élevé de transportabilité ne coïncide pas forcément avec une grande légèreté.

ont des origines multiples qu'indiquent nettement les différences de leurs diamètres et les variations d'épaisseur de leurs parois. A côté des microspores des *Lepidodendrons* et des *Sigillaires*, qui sont de beaucoup les plus nombreuses, les microspores des *calamites*, les spores des *Fougères* et des *Sphénophyllées*, les grains de pollen des *Cycadofilicinées* et des *Cordaites* ont dû jouer un certain rôle dans la genèse des veines de houilles formées par accumulation d'exines de cellules reproductrices.

Le terme « microspores » s'applique donc dans ma terminologie, comme du reste dans celles des autres auteurs, aux *microspores* des cryptogames vasculaires hétérosporées, aux *spores* des cryptogames vasculaires isosporées et aux *grains de pollen* des phanérogames primitives de l'époque houillère.

Les combustibles formés presque exclusivement par accumulation de ces différents types de cellules reproductrices méritent donc bien le nom de *charbons sporopolliniques* <sup>(1)</sup>, terme qui a été employé par C. EG. BERTRAND pour désigner les Cannel-Coals et certaines roches voisines [66] et que j'ai étendu aux houilles proprement dites.

L'étude morphologique des spores de la houille conduit donc à cette conclusion que les nombreuses veines de charbon de cutine du Nord de la France doivent surtout leur origine à *des accumulations de spores de lycopodiacées arborescentes*, conclusion identique à celle que M. PAUL BERTRAND avait pu formuler antérieurement ([87], p. 26), d'après l'étude de la flore houillère lorsqu'il a affirmé *que les quatre cinquièmes de la houille du Nord de la France sont constitués par des débris de ces mêmes plantes*.

### Conclusions de l'étude morphologique des spores.

En résumé, l'étude des spores et des veines de houille qui les contiennent a permis de mettre en évidence un certain nombre de faits d'observation qui sont :

- 1<sup>o</sup> — La *localisation des spores* dans certaines veines de houille.
- 2<sup>o</sup> — L'*existence de nombreuses veines de houille formées uniquement de charbon de spores* qui se sont accumulées dans des bassins de sédimentation après avoir subi des phénomènes de transport d'une certaine amplitude, existence qui comporte comme corollaire les *faits* suivants qui en sont les conséquences logiques.
- 3<sup>o</sup> — Une *production prodigieuse de spores* capable de fournir la substance nécessaire à la formation de belles veines de houille dont la puissance peut atteindre et dépasser 1<sup>m</sup>50 et dont l'extension horizontale peut être relativement considérable.
- 4<sup>o</sup> — La *prédominance marquée du rôle joué par les spores de Lycopodiacées arborescentes* dans la genèse de la plupart de nos veines de houilles flambantes les plus puissantes <sup>(2)</sup>.
- 5<sup>o</sup> — L'*existence d'agents de classement* qui se manifestent non seulement dans le domaine des houilles proprement dites, mais encore dans celui des Cannel-Coals et des schistes, agents

(1) Ce terme *charbons sporopolliniques* qui à première vue semble contenir un pléonasme est à mon avis d'un choix très heureux car il souligne nettement la double origine des cellules reproductrices des charbons (*spores* des cryptogames vasculaires et *grains de pollen* des phanérogames).

(2) Un deuxième type de houilles flambantes, moins fréquent que le type charbon de spores, est celui qui est représenté par les *charbons de cuticules* ou *charbons de feuilles*.

de classement qui ont déterminé dans tous ces types de roche le dépôt des spores et des cuticules sur des aires de sédimentation différentes de celles où s'accumulaient les débris de tissus ligneux.

Dans le présent développement je me suis borné à citer ces faits d'observation sur lesquels je reviendrai dans les chapitres traitant spécialement de la genèse des houilles du Nord de la France.

## II

### LES ÉPIS FRUCTIFÈRES ET LES SPORGES

#### A. — Épis fructifères ?

Les organismes que je décris sous ce nom sont assez rares puisque je n'en ai rencontré que deux exemplaires dans le cours de mes recherches.

Ces deux exemplaires présentent d'ailleurs des structures nettement différentes et leurs caractères me paraissent insuffisants pour permettre une détermination certaine. C'est pourquoi je me bornerai à les décrire rapidement en signalant que l'interprétation que j'en donnerai reste sujette aux plus expresses réserves.

Le premier type est un organe étalé parallèlement au plan de stratification et comprenant un axe et des parois épaisses formées de lames cutinisées serrées les unes contre les autres. Cette structure massive rappelle celle de cônes fructifères analogues à ceux des *Lepidodendrons* (*Lepidostrobus*).

Le deuxième type est un organe également étalé parallèlement au plan de stratification et formé d'écaillés cutinisées empilées les unes sur les autres. Il s'agit vraisemblablement d'un cône ou épi fructifère analogue à ceux que l'on rapporte aux *Sigillaires* (*Sigillariostrobus*).

Un organe assez voisin du premier type a été figuré par M. LOMAX<sup>(1)</sup> sous le nom de *Lepidostrobus*, mais l'aplatissement et l'allongement des bractées cutinisées rappellent plutôt la disposition du cône des sigillariées que la structure massive des épis fructifères des *Lepidodendrées*<sup>(2)</sup>.

Ces déterminations sont uniquement basées sur la morphologie de ces organes et en l'absence de sporanges nettement visibles, qui seuls permettraient une détermination certaine, il convient d'attendre pour se faire une opinion définitive que des exemplaires mieux conservés puissent être soumis à l'examen microscopique.

C'est en raison de leur rareté et des formes très particulières qu'ils présentent que j'ai tenu à signaler ces organismes plutôt dans le but de poser le problème de leur détermination que dans celui d'essayer de les expliquer d'une manière satisfaisante.

#### B. — Sporges ?

Je citerai surtout ces organes végétaux pour signaler que je n'en ai jamais rencontré jusqu'ici parmi les nombreuses houilles que j'ai étudiées.

(1) LOMAX. — [426], p. 457, 2<sup>m</sup>e col, Planche III, fig. 23.

(2) P. BERTRAND. — [87], p. 35.

Cette absence n'a rien qui doive nous étonner si les spores de la houille ont subi, comme je l'ai admis, un certain transport, car au moment de la maturité les sporanges s'ouvraient sous l'action de cellules spéciales (cellules mécaniques) pour projeter au dehors les spores mûres. Ces dernières étaient emportées par le vent tandis que le sporange vidé restait fixé à la plante où il se desséchait et se résorbait.

Les spores et les sporanges subissaient des sorts totalement différents et il n'est pas surprenant que nous ne les trouvions plus associés dans les charbons de spores.

Je citerai pour mémoire le fait qu'au début des recherches sur les houilles les macrospores ont d'abord été considérées comme des sporanges en raison de leurs grandes dimensions.

On a parfois cité comme macrosporangies des groupes de quatre macrospores <sup>(1)</sup>. Une telle détermination ne pourra être considérée comme certaine que lorsque l'on pourra mettre nettement en évidence la structure des parois du sporange. Les bandes irrégulières blanches qui bordent les parois externes des macrospores de la figure 3 de l'ouvrage cité peuvent être interprétées autrement que comme représentant la paroi d'un sporange. On sait, en effet, que la substance fondamentale (pâte) de la houille apparaît en lame mince comme un corps transparent de couleur jaune ou orangé. Dans la figure citée il peut s'agir simplement de plusieurs macrospores isolées au milieu d'un îlot de substance fondamentale. Elle nous permettrait alors d'observer côte à côte deux variétés de corps jaunes <sup>(2)</sup>, les spores et la substance fondamentale (pâte) <sup>(3)</sup>.

De même, on a fréquemment donné le nom de *tétrade* à des assemblages de quatre macrospores en présumant qu'elles provenaient d'un même sporange (*tétrasporange*) <sup>(4)</sup>. Étant donnés les phénomènes de transport qu'ont subi les spores qui n'ont pu être mises en liberté que par l'ouverture du sporange, il semble bien que les simples faits de leur groupement par quatre et de leur proximité ne sont pas suffisants pour leur attribuer le caractère d'appartenir nécessairement à un même sporange.

L'examen des nombreuses figures que j'ai publiées dans le présent mémoire montre bien que les macrospores sont très inégalement distribuées dans les charbons de spores. On les rencontre en effet tantôt isolées, tantôt groupées par quelques unités et plus rarement en lits continus (Pl. VI, Fig. 24, Ms<sub>1</sub>). Le simple hasard peut avoir déterminé leur groupement par quatre et l'origine commune de ces spores ne peut être affirmée tant qu'on ne les retrouvera pas encore enfermées dans les parois du sporange où elles ont pris naissance. Or une telle observation n'a jamais été faite, à ma connaissance, dans la houille elle-même.

(1) Th. LANGE. — [372], Pl. 1, Fig. 3 et 4.

(2) Le terme « corps jaune » semble avoir été employé pour la première fois par Ch. Eg. BERTRAND et réservé d'abord aux spores et aux algues, puis étendu à d'autres substances (corps résineux).

Il semble bien actuellement que toutes les substances végétales des houilles ayant perdu complètement ou presque complètement leur structure sont transparentes en lame mince et présentent des teintes du jaune au rouge orangé.

En lames minces ces caractères (transparence et teintes voisines du jaune) seraient donc liés tantôt à la nature des corps bien conservés (cutine des spores et des cuticules, algues, résines) et tantôt à l'altération d'autres substances (gélification des tissus ligneux, pâte ou substance fondamentale provenant de la précipitation d'une solution humique).

Dans tous les cas ces caractères semblent attachés à la structure amorphe de toutes ces substances.

(3) L'aspect de la substance fondamentale en lame mince a été représenté par M<sup>me</sup> M. C. STOPES qui a figuré celui du *Vitrain*, constituant de la houille formée de substance fondamentale pure. Voir : M. C. STOPES. — [608], Pl. 12, fig. 4, et [611], Pl. hors texte, fig. 4.

(4) Voir en particulier : J. LOMAX. — [426], Pl. II, Fig. 10, page 455, 1<sup>re</sup> colonne, dernière ligne.

### III

## LES CUTICULES

PLANCHES XII A XVIII

#### Définition du terme « Cuticule »

Avant d'aborder l'étude des cuticules de la houille je définirai exactement le sens que je donnerai à ce terme et que j'ai du reste précisé dans une note antérieure [193] de façon à éviter toute ambiguïté. Cette définition est nécessaire, car le mot « *cuticule* » a été fréquemment employé dans des sens très différents.

Les paléobotanistes ont souvent utilisé le mot « *cuticule* » pour désigner la zone externe de l'épiderme des végétaux qui est formée de plusieurs assises de cellules ; dans ce sens la cuticule comprend à la fois les tissus périphériques de l'épiderme et les parois externes cutinisées des cellules qui se trouvent immédiatement placées au contact de l'atmosphère. C'est en lui attribuant ce sens qu'on a décrit la structure cellulaire, les stomates, les poils et les poches sécrétrices des cuticules de certaines plantes fossiles <sup>(1)</sup>.

Le mot « *cuticule* » est généralement employé par les botanistes dans un sens moins compréhensif pour désigner seulement la *zone externe cutinisée* des parois en contact avec l'air <sup>(2)</sup> des cellules périphériques de certains organes tels que les feuilles, les bourgeons, les spores et grains de pollen, les jeunes tiges et les jeunes rameaux qui sont dépourvus d'écorce et de liège. Cette membrane externe cutinisée forme une enveloppe continue, imperméable qui recouvre complètement l'organe qu'elle a mission de protéger et ne représente qu'une partie seulement des membranes externes des cellules périphériques dont la zone interne est restée cellulosique.

La cutine, produit de transformation de la membrane cellulosique, forme ainsi une pellicule continue enveloppant complètement l'organe et moulant toutes les cellules sous jacentes, elle empêche tous les échanges gazeux (respiration, assimilation chlorophyllienne) ou liquide (transpiration) entre la plante et l'air ambiant qui ne peuvent plus s'effectuer que par des ouvertures particulières correspondant à des cavités limitées par des cellules spécialisées, organes que l'on a désignés sous le nom de *stomate*. Lorsque l'organe protégé est unicellulaire (spores et certains grains de pollen) ou formé d'un petit nombre de cellules (pollen des gymnospermes) et que l'enveloppe cutinisée est destinée à garantir ces organites pendant tout le temps qu'ils passent à l'état de vie ralentie, la pellicule de cutine est continue sans aucune ouverture et ne s'ouvre qu'au moment de la germination de la spore ou du grain de pollen par une déchirure ou fente de déhiscence.

La cutine est, comme nous le verrons plus loin, la substance végétale qui résiste le mieux aux agents de destruction et ceci n'a rien de surprenant pour un corps qui joue essentiellement

(1) C'est dans ce sens que le mot « *cuticule* » est employé par M. A. CARPENTIER dans son beau mémoire sur la flore wealdienne de Féron Glageon. Voir : [129]. Voir aussi : G. DEPAPPE, [159].

(2) La cutinisation qui résulte d'une excrétion des membranes cellulosiques n'affecte ordinairement que les membranes cellulaires en contact avec l'air (surface externe des organes ou des cellules limitant les lacunes). Elle se produit néanmoins dans certaines cellules profondes comme les cellules à oursins d'oxalate de calcium dont les parois internes sont cutinisées ou subérifiées.

un rôle de protection et doit être par conséquent peu ou pas attaqué par les agents physiques, chimiques et bactériologiques. Dans ces conditions, on comprend facilement que les membranes cutinisées se rencontrent fréquemment dans les combustibles fossiles alors que les tissus sous jacents moins résistants ont subi des altérations qui vont le plus souvent jusqu'à la destruction totale de leur structure. Aussi dans les houilles seules les parties cutinisées des membranes gardent leur individualité et la plupart des lithologistes qui ont étudié cette roche ont employé le mot *cuticule* dans le sens de *pellicule cutinisée* sans structure cellulaire.

Les pétrographes utilisent même le mot « *cuticule* » dans un sens encore plus restreint que celui que leur attribuent les botanistes. En effet, ces derniers qui ne définissent les cuticules que comme faisant partie intégrante des organismes ou des organes dont ils étudient la morphologie désignent sous ce nom toute pellicule cutinisée et sont amenés à appeler cuticules aussi bien les exines de spores et de grains de pollen que les peaux cutinisées des organes de grandes tailles (feuilles, tiges, etc.) dont les rôles physiologiques sont identiques.

Au contraire, dans les combustibles fossiles les cuticules des spores et celles des feuilles, ont dans certains cas des significations identiques à celles des fossiles animaux et végétaux et

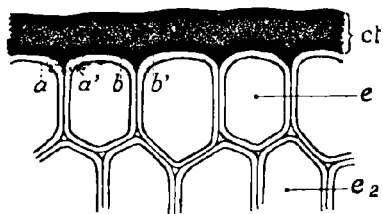


FIGURE 34<sup>1</sup>. — Figure schématique montrant les rapports entre la cuticule (*ct*) et les cellules de l'épiderme (*e*, *e*<sub>2</sub>).

Entre *a* et *a'*, *b* et *b'* on peut observer les dentelures de la cuticule correspondant aux surfaces de jonction des cellules externes de l'épiderme. Deux autres dentelures sont visibles à droite de ces points.

l'on peut distinguer comme nous le verrons plus loin des « *charbons de spores* » et des « *charbons de cuticules* ». C'est pour cette raison que les pétrographes ont été amenés à utiliser le terme « *exine de spore* » et par abréviation « *spores* » pour désigner les membranes cutinisées de ces organites et à réserver le mot « *cuticule* » pour désigner uniquement les peaux cutinisées des organes de grandes dimensions tels que les feuilles, les tiges ou les rameaux.

C'est dans ce sens restreint employé par M. THIESSEN [639], M. CHOZO IWASAKI [335 et 336] et par moi [193] que j'utiliserai désormais le mot « *cuticule* » qui ne servira que pour nommer les membranes cutinisées d'organes d'assez grandes dimensions (feuilles, rameaux, etc).

## A

### Caractères morphologiques des Cuticules.

Les cuticules *stricto sensu* présentent des caractères morphologiques nets qui sont surtout bien observables en sections transversales.

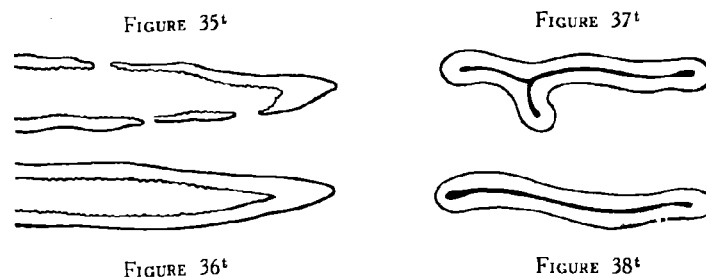
Comme je l'ai dit plus haut, les cuticules dérivent d'une différenciation des membranes externes des cellules et forment des pellicules continues qui moulent la surface de ces dernières. Il en résulte que vers l'extérieur les cuticules offrent des surfaces onduleuses qui répètent à peu près les contours des cellules et qu'en coupe leur bord externe est légèrement ondulé. (Fig. 34<sup>1</sup>).



Le plus souvent les cuticules ne présentent pas une épaisseur uniforme et sont plus épaisses aux points de jonction des cellules là où deux cellules voisines concourent à leur formation. Dans ces conditions, si l'on arrivait à isoler la cuticule des tissus sous-jacents la surface interne porterait en creux l'empreinte de chaque cellule et les lignes de jonction des différentes cellules formeraient un réseau en relief très irrégulier. En section cette structure se manifeste par une allure en *dent de scie* caractéristique des cuticules dont le bord interne est le plus souvent finement dentelé. (Fig. 34<sup>t</sup>).

Les cuticules sont plus ou moins épaisses selon les espèces et suivant le genre de vie auquel les plantes qui les portent sont adaptées. Les végétaux des régions chaudes et sèches sont pourvus de cuticules très épaisses.

Les caractères que j'ai signalés plus haut peuvent suivant les cas être exagérés ou s'atténuer considérablement.



Figures schématiques montrant les différences essentielles d'aspect des cuticules et des macrospores en sections verticales.

FIG. 35<sup>t</sup>. — Cuticules avec plusieurs ouvertures correspondant aux stomates.

FIG. 36<sup>t</sup>. — Cuticules montrant, comme les précédentes, l'aspect finement dentelé de leurs faces internes.

*Dans les deux cas les cuticules supérieures et inférieures se soudent pour former le bord coupant de la feuille.*

FIG. 37<sup>t</sup>. — Exine de macrospore plissée en Y.

FIG. 38<sup>t</sup>. — Exine de macrospore faiblement ondulée.

*Toutes les extrémités des exines de spores sont régulièrement arrondies.*

Les membranes communes des cellules adjacentes peuvent elles mêmes se cutiniser et donner naissance à une cuticule où les dentelures, devenant très importantes, offrent un aspect très particulier. (La cuticule Cts de la figure 83 (Pl. XVI) montre un exemple de dentelures accentuées, dentelures qui s'exagèrent encore dans la cuticule Cti plus mince de la même microphotographie).

Au contraire, les dentelures peuvent presque disparaître et la cuticule apparaît en section comme une bande à peine ondulée sur ses deux bords. La figure 84 de la planche XVI permet d'observer une cuticule bien dentelée tandis que la figure 85 représente une cuticule où le bord interne est à peine ondulé.

Le mode de jonction des cuticules supérieure et inférieure d'un même organe qui se soudent pour former un bord coupant (Fig. 35<sup>t</sup> et 36<sup>t</sup>) donne aux extrémités des cuticules une forme aiguë qui contraste avec les terminaisons arrondies des macrospores (Fig. 37<sup>t</sup> et 38<sup>t</sup>).

Examinées de face les cuticules des plantes vivantes et des plantes fossiles à épiderme con-

servé offrent un aspect caractéristique dû aux contours très irréguliers des cellules épidermiques. Ces caractères qui présentent un grand intérêt dans l'étude de certaines empreintes fossiles <sup>(1)</sup> en offrent beaucoup moins dans l'examen des roches combustibles où les tissus sous-jacents sont toujours détruits, de sorte que les contours caractéristiques de leurs cellules ne sont plus observables. Comme nous le verrons plus loin les coupes tangentielles des cuticules des houilles ne nous montrent que très peu de détails de structure. C'est surtout en sections transversales que ces corps figurés doivent être étudiées et décrits.

### a — Aspects des Cuticules en sections verticales.

(perpendiculaires au plan de stratification).

#### PLANCHES XII ET XIV A XVIII.

L'observation montre que les cuticules sont toujours étalées parallèlement au plan de stratification des couches de houille et que dans ces conditions une section verticale perpendiculaire au plan de stratification coïncide toujours avec une section transversale de ces corps figurés.

Dans les conditions d'observation les plus favorables les cuticules apparaissent sous l'aspect représenté par les figures 58a, 58b et 58c de la planche XII qui nous montrent des sections entières des parois cutinisées d'un organe aplati, à bords coupants, étalé parallèlement au plan de stratification. Les cuticules supérieure (Cts) et inférieure (Cti) de cet organe sont sensiblement parallèles, leurs bords externes sont faiblement ondulés tandis que leurs bords internes, se faisant vis à vis, sont finement dentelés ; elles se soudent à droite et à gauche de l'ensemble des figures pour former un angle aigu épaissi indiquant que l'organe avait des bords tranchants.

Les cuticules supérieures et inférieures sont interrompues de place en place par des vides marquant l'emplacement des stomates ; l'absence de décalage des deux lèvres de ces orifices montre bien qu'il s'agit d'ouvertures en forme de cercle ou de boutonnière et non de fentes d'une certaine étendue.

Entre les deux cuticules (Cts et Cti) on observe une masse amorphe sans structure transformée en houille brillante et ne contenant aucun des corps figurés que l'on rencontre dans la houille encaissante au contact des bords externes des cuticules. Ce caractère montre bien que les cuticules limitaient un espace clos primitivement rempli par la masse des tissus internes de l'organe. Ces tissus internes moins résistants que la cutine ont été complètement gélifiés et transformés *in situ* en substance amorphe colloïdale (I). Dans la région médiane on aperçoit encore une trace de structure (N) qui correspond à des vestiges de tissus lignifiés (nervure).

L'organe étant particulièrement bien étalé ses cuticules sont coupées normalement et présentent une épaisseur régulière dans toute leur étendue.

Les parois des cuticules sont relativement minces, eu égard aux dimensions de l'organe, si on les compare à celles des macrospores (Ms) existant dans le champ des figures 58a et 58 b.

(1) A. CARPENTIER. — [129], voir en particulier la planche XIV. G. DEPAPE. — [159], p. 38 et 39, figures 5 et 6.

En surfaces polies les cuticules présentent la même teinte grise que les exines de spores, teinte qui est caractéristique des substances cutinisées.

La figure 59 de la Planche XII permet d'observer une cuticule analogue à la précédente, mais de dimension plus faible et à parois plus épaisses. La cuticule inférieure seule présente un orifice correspondant à un stomate (St) dans le voisinage du bord droit de l'organe dont les tissus internes, complètement gélifiés sont transformés en substance amorphe brillante sans structure. Les cuticules sont ici légèrement onduleuses, mais le corps figuré est bien étalé parallèlement au plan de stratification.

La figure 72 de la planche XIII montre une cuticule complète analogue aux deux précédentes et comme elles nettement stratifiée. Les orifices correspondant aux stomates sont plus importants, mais la masse interne est encore transformée en houille brillante sans structure ne contenant pas, comme dans les deux autres figures, de corps analogues à ceux que l'on rencontre dans la houille encaissante.

La figure 63 permet d'observer l'une des extrémités d'une grande cuticule (Cts, Cti) analogue aux précédentes.

Les figures 76a et 76b de la planche XIV représentent un organe semblable aux précédents, étalé comme eux parallèlement au plan de stratification et dont la cuticule supérieure (Cts) bien conservée montre de nombreux orifices correspondant aux stomates <sup>(1)</sup> tandis que la cuticule inférieure (Cti) très altérée n'est plus nettement visible. Ici encore les tissus internes de l'organe ont été transformés en houille brillante, amorphe, colloïdale sans structure et ne contiennent pas de corps figurés analogues à ceux que l'on rencontre dans la houille encaissante.

Les figures précédentes comme la figure 60, (Pl. XII) représentent des sections complètes de cuticules très fréquentes dans certaines houilles où l'on rencontre souvent des sections incomplètes de ces mêmes corps figurés, sections incomplètes résultant du fait que leurs extrémités ont été brisées au cours de leur fossilisation ou que la préparation étant trop petite elles se trouvent coupées par l'un de ses bords.

Dans ce cas on peut observer des structures analogues à celles représentées par les figures 63, 64, 65a et b, 66 et 67 de la planche XII qui se comprennent aisément par comparaison avec les figures précédentes. Ici encore on voit nettement que les tissus internes (I) inclus entre les deux cuticules (Cts, Cti) sont transformés en une substance amorphe, brillante colloïdale dépourvue de toute structure et ne contenant jamais les corps figurés qui existent dans la houille encaissante. On rencontre fréquemment au milieu de ces masses colloïdales des vestiges des tissus ligneux (Pl. XII, Fig. 65 b, N). Les figures 72 (Pl. XIII), 74, 76a, 76b (Pl. XIV) 82 (Pl. XVI), 87 à 89 (Pl. XVII) représentent des cuticules entières ou des fragments de cuticules. Lorsque la section intéresse une feuille épaisse très charnue comme celles de certaines plantes houillères, l'aspect des bords coupants de ces feuilles est celui présenté par la figure

(1) Ici comme dans les développements précédents les termes *cuticules supérieures* et *cuticules inférieures* n'indiquent que la position dans la masse de la houille. Ils ne correspondent pas forcément aux cuticules supérieures et inférieures des feuilles qui ont pu s'immerger indifféremment avec l'une ou l'autre de leurs faces dirigées vers le bas. Dans ces conditions, une cuticule supérieure telle que Cts des figures 76 a et b peut représenter morphologiquement la cuticule inférieure d'une feuille et être normalement plus riche en stomates que la cuticule qui se trouve placée en dessous d'elle, cette dernière représentant alors morphologiquement la cuticule supérieure de la feuille.

75 (Pl. XIV) où les cuticules supérieure (Cts) et inférieure (Cti) sont légèrement plissées par suite de la diminution de volume de la masse interne (I) des tissus de la feuille complètement gélifiés.

Lorsque les cuticules sont coupées normalement dans toute leur étendue leurs parois présentent des épaisseurs constantes et régulières. Mais il n'en est plus de même quand par suite d'ondulations ou d'une certaine obliquité de la paroi de l'organe sur le plan de stratification la section verticale coupe les cuticules obliquement par rapport à leurs surfaces.

La figure 64 de la planche XII qui représente l'extrémité brisée et plissée d'une cuticule illustre bien ce caractère. Dans les régions plissées la paroi de la cuticule montre des renflements importants, renflements marqués r sur les figures schématiques 51<sup>t</sup> et 52<sup>t</sup>.

La cuticule Ct<sub>2</sub> des figures 58a, 58b et 58c de cette même planche montre également ce caractère constant des cuticules qui consiste à présenter des différences importantes d'épaisseurs lorsqu'elles sont coupées obliquement par une section plane (voir aussi la figure schématique 53<sup>t</sup>).

On peut également observer sur la figure 59 de la planche XII une cuticule (Ct) coupée obliquement et paraissant très épaisse.

La figure 82 de la planche XVI illustre encore mieux cette particularité et nous permet de comprendre la coexistence dans une même préparation de cuticules d'épaisseurs variables. On y voit les deux cuticules d'une même feuille (Cts, Cti) coupées obliquement et très épaisses vers la droite passer insensiblement à des cuticules très minces dans la partie gauche de la figure où par suite de plis elles se trouvent sectionnées normalement à leurs surfaces. Les deux cuticules Cts, Cti présentent sur leurs bords internes une structure dentelée particulièrement nette. Dans cette figure on peut observer de nombreuses cuticules très minces étalées parallèlement au plan de stratification de la houille.

La figure 74 de la planche XIV nous montre également dans sa partie supérieure les deux cuticules d'un même organe (Ct) coupées obliquement et offrant des différences d'épaisseurs importantes.

Ces différences sont encore exagérées dans la feuille qui occupe la zone médiane et dont le bord coupant prend un aspect *en harpon* que l'on rencontre assez fréquemment. Par contre les deux cuticules de la feuille inférieure restent minces sur toute leur étendue par suite de l'absence de plissements.

Enfin, les cuticules peuvent présenter également des plissements plus importants (Pl. XII, Fig. 61 et 62) ou offrir des aspects particuliers (Pl. XII, Fig. 67, Cts, Cti). Les figures 92a et 92b de la planche XVIII montrent un bel exemple d'une cuticule d'une feuille entière fortement plissée. La figure 93 de cette même planche représente également une cuticule très plissée.

Toutes les figures précédentes se rapportent à des organes entiers où les deux cuticules existent encore de part et d'autre des tissus internes plus ou moins transformés en substance amorphe.

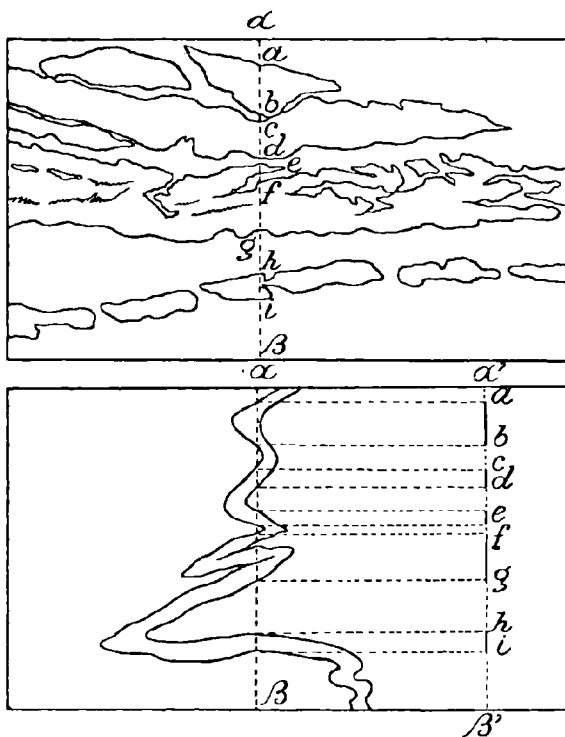
Dans certains cas ces tissus internes peuvent avoir complètement disparu entraînant l'affaissement des deux cuticules l'une sur l'autre et provoquant des invaginations des parois ou leur accollement plus ou moins parfait (Fig. 77, Pl. XV).

La figure 86 (Pl. XVI) montre un empilement de telles cuticules repliées sur elles-mê-

mes et présentant une disposition que montrent les figures 92, 93 et 95 (Pl. XVIII) et les schémas 39<sup>t</sup> à 42<sup>t</sup>.

Parfois l'organe peut avoir subi une dislocation complète et les cuticules séparées peuvent se trouver isolées les unes des autres. C'est ce qu'on observe dans les figures 59 et 60 de la planche XII (Ct).

Les figures 65a et 65b permettent, au contraire, d'observer des feuilles entières dont les cuticules ont en partie disparu.

FIGURE 39<sup>t</sup>FIGURE 40<sup>t</sup>

Figures schématiques expliquant le contours très irréguliers que présentent certaines cuticules en sections verticales.

FIG. 39<sup>t</sup>. — Schéma représentant les cuticules morcelées de la Fig. 78 (Pl. XV).

α β. — Trace du plan de la section représentée par la Fig. 40<sup>t</sup>.

FIG. 40<sup>t</sup>. — Coupe verticale théorique, perpendiculaire au plan de la section verticale de la Fig. 39<sup>t</sup>, expliquant par le morcellement d'une cuticule unique très plissée l'aspect observé dans cette dernière figure.

L'allure plissée de cette cuticule a été tracée d'après les figures 75 (Pl. XIV), 92, 93 et 95 (Pl. XVIII).

α β. — Trace du plan de la section représentée par la Fig. 39<sup>t</sup>.

α' β'. — Droite sur laquelle ont été portés en traits pleins (ab, cd, e, fg, hi) des vecteurs correspondant aux parties de la cuticule coupées par le plan de la section de la Fig. 39<sup>t</sup>. (Les lettres des Fig. 39<sup>t</sup> et 40<sup>t</sup> se correspondent exactement).

Le morcellement des cuticules pouvant être encore plus accentué il est possible de les rencontrer à l'état de menus débris de dimensions très variables. Tels sont ceux que montrent les différentes figures de la planche XII à côté des cuticules de feuilles entières.

Le morcellement peut encore être dû au fait que, par suite de plissements, la section contient différents lambeaux d'une cuticule entière. Les figures 78 à 81 (Pl. XV), 93, 94 et 96 (Pl. XVIII) montrent des exemples de sections de ce genre.

Dans toutes les figures citées précédemment qui représentent ces cuticules à des grossissements relativement faibles ( $\times 55$ ) on peut fréquemment observer le caractère de certaines cuticules de présenter sur leur bord interne des dentelures typiques. (Pl. XII, Fig. 58a à 58c Fig. 63, Pl. XVI, Fig. 82 etc).

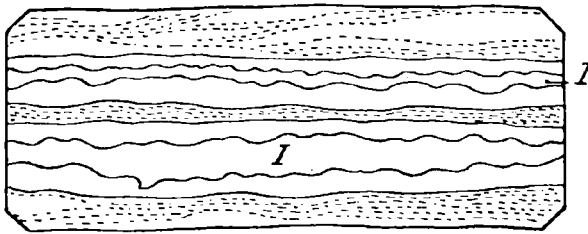
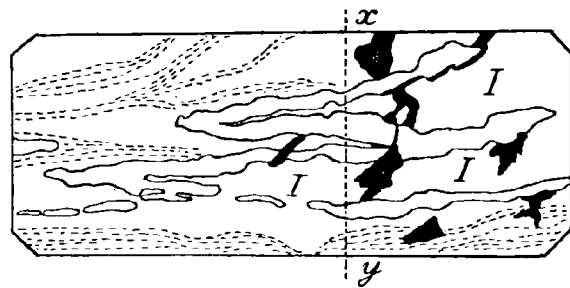
Ce caractère est surtout mis en évidence par l'examen des cuticules à plus forts grossissements ( $\times 250$  à  $\times 1.020$  suivant les cas). (Voir : Pl. XVI, Fig. 83 à 86).

Les figures 83 à 85 de la Planche XVI représentent à très fort grossissement diverses régions de la cuticule Cts de la figure 82.

La figure 83 (Pl. XVI) montre la structure dentelée caractéristique d'une cuticule coupée bien normalement à sa surface.

La figure 84 permet d'observer une région de Cts (Pl. XVI, Fig. 82) plus voisine du bord droit de la figure exécutée à faible grossissement. L'aspect en dent de scie est encore net quoique moins accusé que dans la figure 83 par suite d'une légère obliquité de la coupe par rapport à l'étalement de Cts dans cette région.

La figure 85 montre l'aspect de la même cuticule (Pl. XVI, Fig. 82 Cts) dans la région droite de la figure. Ici par suite de la grande obliquité de la section le bord interne de la cuticule paraît festonné, la structure dentelée n'étant presque plus visible.

FIGURE 41<sup>t</sup>FIGURE 42<sup>t</sup>

Figures schématiques expliquant dans certaines sections verticales l'allure des cuticules en bandelettes superposées

FIG. 41<sup>t</sup>. — Dessin schématisant certaines régions de la Fig. 77 (Pl. XV). La lettre *I* indique la houille amorphe provenant de la gélification des tissus internes de la feuille.

FIG. 42<sup>t</sup>. — Schéma représentant la Fig. 95 (Pl. XVIII). Une autre section verticale dont la trace est *x y* et qui serait perpendiculaire au plan de la Fig. 42<sup>t</sup> couperait la cuticule plissée suivant quatre bandes analogues à celles de la Fig. 41<sup>t</sup> et intéresserait deux fois la masse interne gélifiée (*I*) de la même feuille.

Ces diversités d'aspects d'une même cuticule suivant qu'elle se trouve coupée perpendiculairement ou obliquement à sa surface par la section envisagée se trouvent expliquées par les figures schématiques ci-contre (Fig. 39<sup>t</sup> à 42<sup>t</sup>) qui montrent que ces aspects sont très différents suivant l'orientation des sections verticales.

La figure 86 de la planche XVI nous permet d'observer des sections de cuticules présentant des dentelures très accentuées, les dents très longues formant de véritables digitations.

En résumé les sections verticales de houille nous ont permis d'observer les trois types de cuticules que l'on rencontre dans les plantes modernes :

- 1<sup>o</sup> — Cuticules finement dentelées.
- 2<sup>o</sup> — Cuticules à dentelures très accentuées et digitées.
- 3<sup>o</sup> — Cuticules peu ou point dentelées.

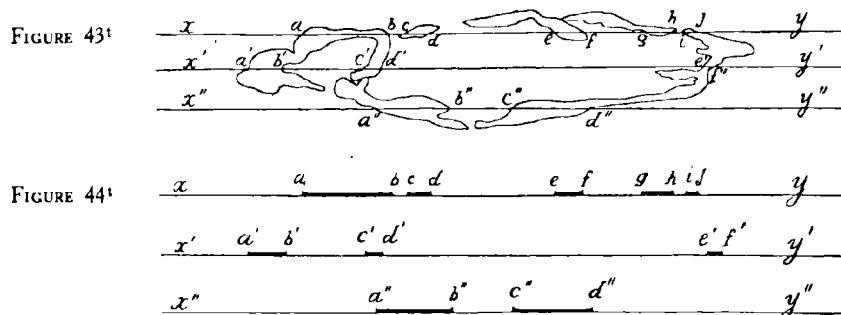
## b — Aspect des Cuticules en sections horizontales.

(parallèles au plan de stratification)

### PLANCHE XIII.

En sections verticales (perpendiculaires au plan de stratification) quelle que soit la direction de la surface polie les cuticules apparaissent presque toujours sous les mêmes aspects qui ont été décrits précédemment, caractère qui prouve que les corps figurés auxquels elles appartiennent affectent la forme de lames aplaties et étalées parallèlement au plan de stratification des couches de houille.

Ces mêmes sections nous montrent que ces cuticules sont rarement rectilignes, mais plus souvent onduleuses ou plissées. Dans ces conditions, étant donné que de plus ces cuticules



Figures schématiques expliquant les variations d'aspect d'une même cuticule, en section horizontale suivant la position du plan de la surface polie.

FIG. 43<sup>t</sup>. — Schéma représentant la cuticule de la Fig. 62 (Pl. XII) (section verticale). Les droites  $x y$ ,  $x' y'$  et  $x'' y''$  représentent les traces des plans parallèles de trois sections horizontales.

FIG. 44<sup>t</sup>. — Sur les trois droites  $x y$ ,  $x' y'$  et  $x'' y''$  on a porté en traits gras des vecteurs correspondant aux portions de ces droites où le plan de chacune des sections coupe la cuticule de la Fig. 43<sup>t</sup>. Les variations de nombre et de longueur des vecteurs  $a, b, c, d, \dots, a', b', \dots, a'', b'', \dots$  etc. etc. et leur position sur les trois droites en question permettent de se rendre compte des diversités d'aspect d'une même cuticule en section horizontale suivant la position du plan de coupe dans l'échantillon poli.

L'écartement des droites  $x y$  et  $x'' y''$ , traces des deux sections extrêmes, est de l'ordre de  $2/10^{\text{e}}$  de millimètres.

sont parfois légèrement obliques par rapport à la direction des strates et qu'une surface polie ne coupe jamais l'échantillon suivant une direction absolument parallèle à ces mêmes strates, une section horizontale (parallèle au plan de stratification), qui théoriquement devrait coïncider avec une section tangentielle et couper une même cuticule suivant une grande surface, ne la rencontre en fait que dans certaines régions et la coupe le plus souvent suivant des plages très irrégulières.

L'observation montre qu'en section horizontale les cuticules offrent des contours très irréguliers paraissant très compliqués, mais qui en réalité s'expliquent facilement par les plissements et les ondulations qu'elles présentent en sections verticales.

Les Fig. 43<sup>t</sup> et 44<sup>t</sup> qui représentent les traces de trois sections horizontales théoriques de la

cuticule figurée sur la Planche XII (Fig. 62) permet de comprendre ces allures bizarres à première vue, les parties coupées par les sections étant représentées en traits forts. La comparaison des traits forts des droites  $x y$ ,  $x' y'$  et  $x'' y''$  montrent quelles grandes variations d'aspects peuvent présenter des sections parallèles voisines distantes de moins de  $2/10^e$  de millimètre.

La figure 68 de la planche XIII nous permet d'observer l'aspect d'un charbon de cuticules en section horizontale. Les cuticules ont des contours onduleux, plissés, très irréguliers

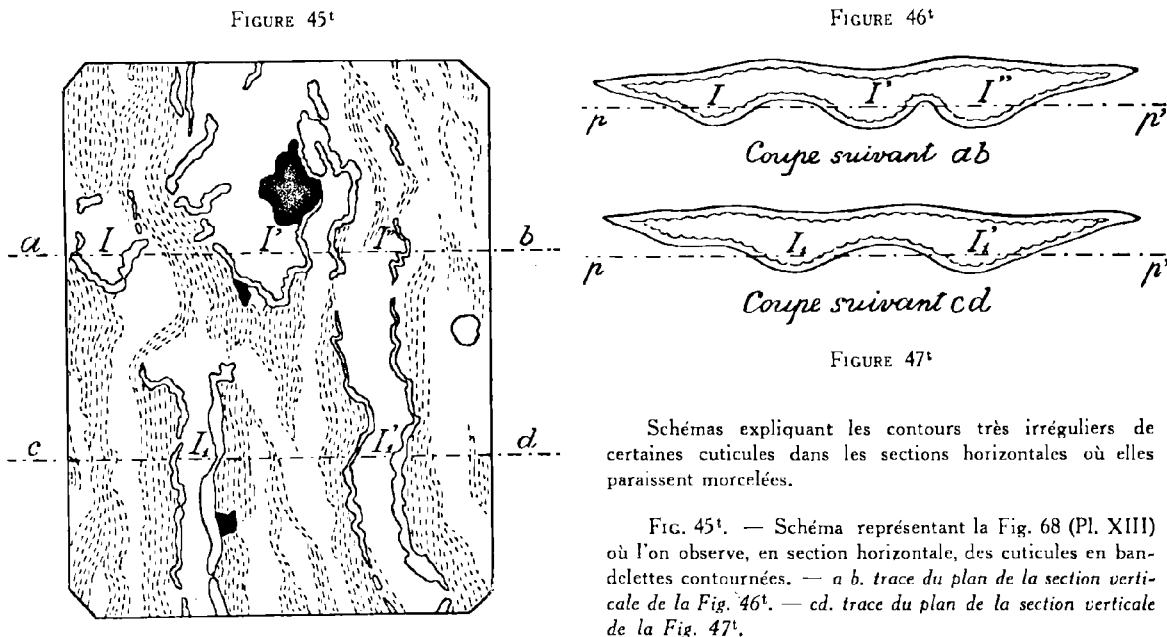


FIG. 46<sup>t</sup>. — Section verticale hypothétique montrant comment le plan des figures 68 (Pl. XIII) et 45<sup>t</sup> coupe six fois la cuticule inférieure plissée d'une même feuille et trois fois les tissus internes gélifiés ( $I, I', I''$ ) suivant la droite  $a b$ .

FIGURE 47<sup>t</sup>. — Section verticale hypothétique expliquant comment suivant la droite  $c d$  le plan des Fig. 68 (Pl. XIII) et 45<sup>t</sup> coupe quatre fois la cuticule inférieure, plissée d'une même feuille et deux fois les tissus internes gélifiés ( $I_1, I_1'$ ). Les deux figures 46<sup>t</sup> et 47<sup>t</sup> montrent également comment la section horizontale intéresse la houille encaissante.

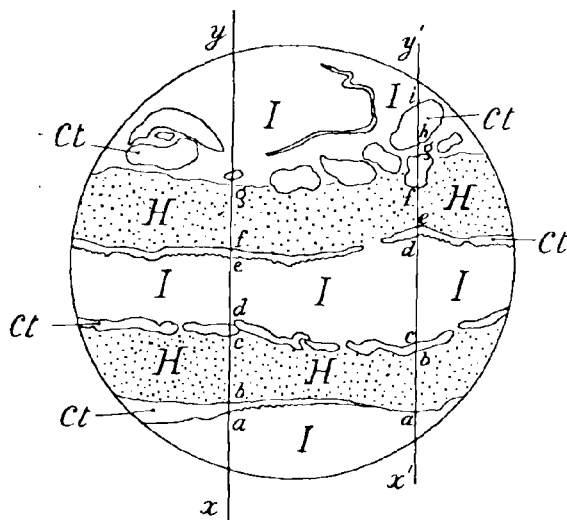
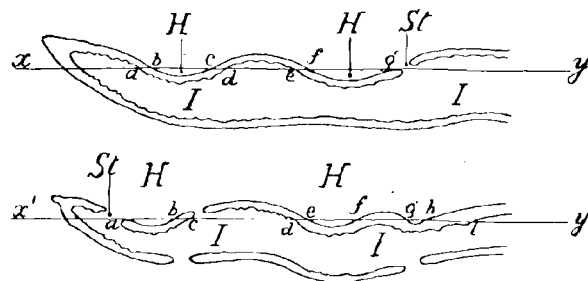
Les plissements des cuticules inférieures des feuilles représentées par les coupes verticales hypothétiques des figures 46<sup>t</sup> et 47<sup>t</sup> sont du type de ceux observables en Cts sur la Fig. 66 (Pl. XII).

qui paraissent à première vue très difficiles à interpréter. En réalité, il suffit pour cela d'admettre quelques ondulations et plissements d'une même cuticule, ondulations et plissements analogues à ceux que l'on observe dans les sections verticales. Les figures schématiques ci-contre (Fig. 45<sup>t</sup> à 47<sup>t</sup>) expliquent facilement et simplement la structure particulière de la figure 68 de la planche XIII.

La figure 69 de cette même planche nous révèle également des faits analogues. Les divers fragments de cuticules de formes très différentes peuvent appartenir à une même cuticule plissée et ondulée et coupée comme l'indique les figures schématiques ci-contre (Fig. 48<sup>t</sup> à 50<sup>t</sup>).



Les figures 70a et 70b de la planche XIII nous montrent une section de cuticule d'apparence bizarre que les figures schématiques (Fig. 51<sup>t</sup> à 53<sup>t</sup>) expliquent d'une manière satisfaisante grâce à l'interprétation de sections légèrement obliques, par rapport au plan de stratification, des cuticules représentées en sections verticales par les figures (58a, 58b et 58c) et 64

FIGURE 48<sup>t</sup>FIGURE 49<sup>t</sup>FIGURE 50<sup>t</sup>

Schémas expliquant les contours très irréguliers que présentent certaines cuticules dans les sections horizontales.

FIG. 48<sup>t</sup>. — Schéma représentant la Fig. 69 (Pl. XIII) où des cuticules apparaissent, en section horizontale, sous forme de bandes onduleuses (Cts, Cti, Ct<sub>2</sub>) et de plages (Ct).

FIG. 49<sup>t</sup>. — Coupe verticale hypothétique passant par la droite  $xy$  de la Fig. 48<sup>t</sup>. Des plissements de la cuticule supérieure expliquent pourquoi le plan de la Fig. 48<sup>t</sup> ne coupe la dite cuticule que suivant trois bandes grossièrement parallèles ( $ab$ ,  $cd$  et  $ef$ ). Le plan dont la trace est  $x'y$  passe également dans la masse des tissus internes gélifiés de la feuille ( $I$ ) et dans la houille encaissante ( $H$ ).

FIG. 50<sup>t</sup>. — Coupe verticale hypothétique suivant la direction  $x'y'$  (Fig. 48<sup>t</sup>). Des plissements plus accentués de la cuticule supérieure montrent comment le plan horizontal de la Fig. 48<sup>t</sup>, dont la trace est  $x'y$ , coupe simultanément la dite cuticule suivant deux bandes grossièrement parallèles ( $bc$  et  $de$ ) et certaines plages irrégulières ( $fg$  et  $hi$ ). Le plan de la surface polie horizontale passe dans la masse des tissus internes gélifiés de la feuille ( $cd$ ) et par la houille encaissante ( $H$ ).

Les plissements ondulés des cuticules des figures hypothétiques 49<sup>t</sup> et 50<sup>t</sup> sont moins accentués que ceux que l'on observe sur les Fig. 61 et 64 (Pl. XII).

de la Planche XII. La surface polie utilisée pour obtenir les microphotographies 70a et 70b (Pl. XIII) est justement une coupe légèrement oblique sur la direction des strates.

La figure schématique 53<sup>t</sup> qui représente la cuticule Ct<sub>2</sub> de la figure 58b (Pl. XII) explique bien l'aspect des cuticules visibles sur les figures 70a et 70b en sections horizontales.

Les microphotographies 71a et 71b (Pl. XIII) représentent une autre région de la surface polie contenant les cuticules des figures 70a et 70b. La figure 71b montre l'extrémité d'un corps figuré limité par des cuticules <sup>(1)</sup>.

Les figures 71a et 71b ne représentent pas le même corps figuré, mais deux corps figurés

(1) Cette figure a déjà été publiée. Pour sa description détaillée voir l'explication de la planche XIII ou la note suivante. A. DUPARQUE. — [195].

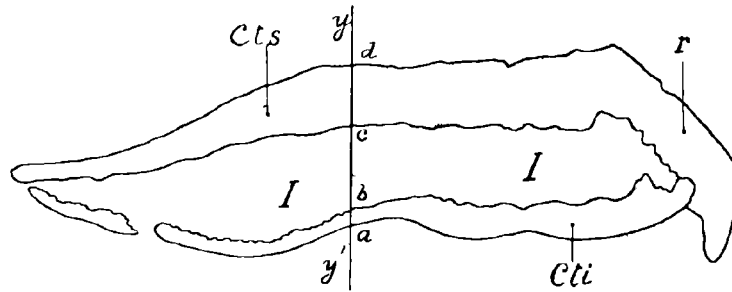


FIGURE 51<sup>t</sup>. — Croquis représentant les cuticules de la Fig. 70 (Pl. XIII) dont les contours irréguliers offrent des renflements ( $r$ ) et des rétrécissements qui expliquent les sections verticales des Fig. 52<sup>t</sup> et 53<sup>t</sup>. —  $Cts$ , cuticule supérieure.  $Cti$ , cuticule inférieure. —  $I$ , tissus internes gélifiés de la feuille. —  $y y'$ , trace du plan des sections verticales des figures 52<sup>t</sup> et 53<sup>t</sup>. — (Cette section, légèrement oblique sur le plan de stratification, est très voisine d'un plan horizontal).

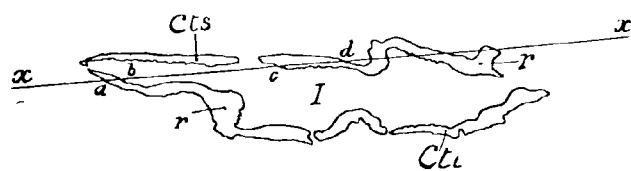


FIGURE 52<sup>t</sup>. — Croquis représentant les cuticules de la Fig. 64 (Pl. XII) et expliquant, par une section horizontale, l'aspect de la cuticule de la Fig. 51<sup>t</sup> (Fig. 70, Pl. XIII). —  $x x'$ , trace d'un plan d'obliquité voisine de celle de la section de la Fig. 51<sup>t</sup>. —  $Cts$ , cuticule supérieure. —  $Cti$ , cuticule inférieure. —  $I$ , Tissus internes gélifiés de la feuille. —  $ab$  et  $cd$ , régions des cuticules coupées par le plan de la section dont la trace est  $x x'$ . —  $r$ , renflements des cuticules en rapport avec leurs plissements. — Dans le cas de la cuticule des Fig. 64 et 52<sup>t</sup> la coupe oblique dont la trace est  $x x'$  montrerait au dessus de  $d$  (Fig. 51<sup>t</sup>) trois bandelettes parallèles à  $Cts$  correspondant aux trois sections de la cuticule qui se trouvent à droite de  $d$  sur la Fig. 52<sup>t</sup>.

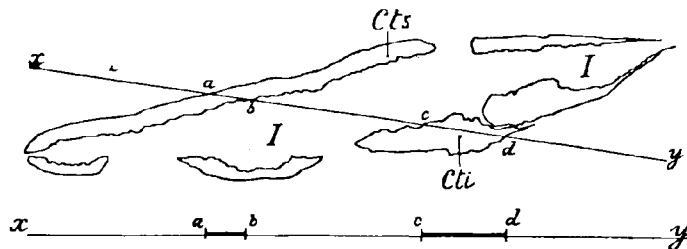


FIGURE 53<sup>t</sup>. — Croquis représentant l'une des cuticules ( $Cts$ ) de la Fig. 58 (Pl. XII) et expliquant l'aspect, en section légèrement oblique sur le plan de stratification, de la cuticule de la Fig. 51<sup>t</sup> (Fig. 70, Pl. XIII). —  $x y$ , trace du plan de la Fig. 51<sup>t</sup>. —  $Cti$ , cuticule inférieure correspondant à la cuticule  $Cts$  de 51<sup>t</sup>. —  $Cts$ , cuticule supérieure. —  $I$ , tissus internes de la feuille complètement gélifiés. —  $ab$  et  $cd$ , régions des cuticules coupées par le plan dont la trace est  $x y$ .

différents existant dans la même surface polie. Les extrémités des cuticules  $Cts$  et  $Cti$  de la figure 71a ne peuvent être observées, le corps figuré étant coupé par les bords de la préparation. Les analogies de structure d'aspect et de gisement permettent d'admettre que la figure 71b représente la jonction de deux cuticules analogues à celles photographiées en 71a. L'as-

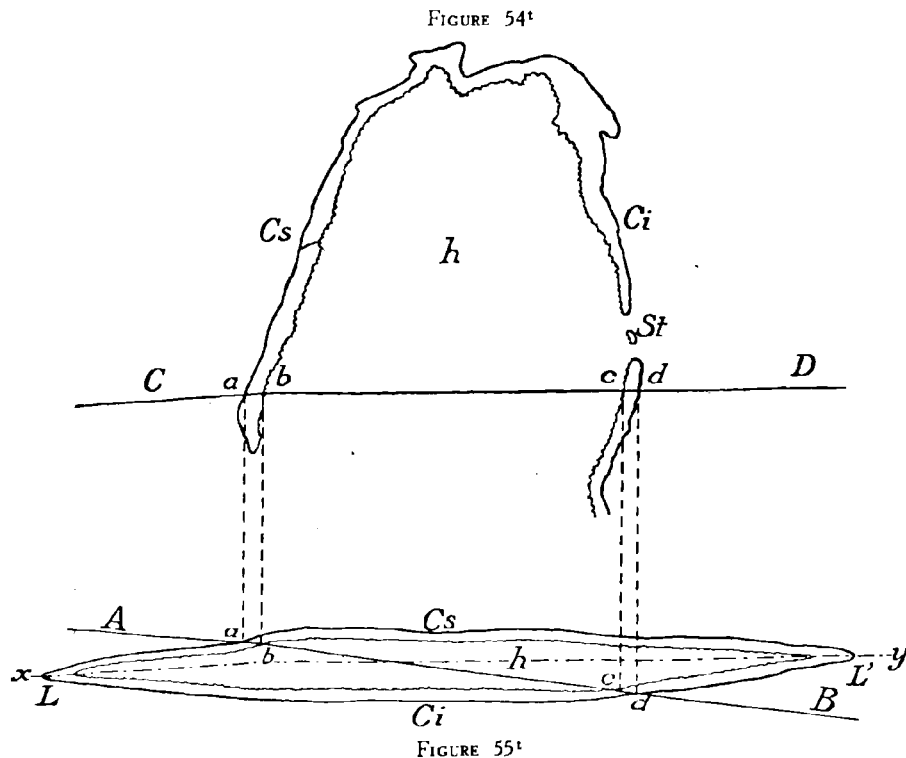


FIG. 54<sup>t</sup>. — Croquis représentant la cuticule de la Fig. 71 b (Pl. XIII) (Section légèrement oblique sur le plan de stratification). —  $CD$ , trace du plan de la Fig. 55<sup>t</sup>. —  $St$ , stomate.

FIG. 55<sup>t</sup>. — Croquis schématisant l'aspect de la cuticule de la Fig. 72 (Pl. XIII) (section verticale). —  $A-B$ , trace du plan de la Fig. 54<sup>t</sup>. —  $xy$ , trace du plan de stratification. —  $LL'$ , bords coupants de la feuille. —  $h$ , houille brillante constituée par les tissus internes gélifiés de la feuille. —  $Cs$ , cuticule supérieure. —  $Ci$ , cuticule inférieure. —  $ab$  et  $cd$ , régions de la cuticule coupées par le plan  $AB$ .

Dans la Fig. 54<sup>t</sup> le raccordement des cuticules  $Ci$  et  $Cs$  indique que la section sensiblement horizontale intéresse l'extrémité de la feuille.

pect très particulier, rappelant certaines sections verticales, que montrent les figures 71a et b se trouve expliqué, par les schémas 54<sup>t</sup> et 55<sup>t</sup> dont les tracés sont empruntés aux figures 71 et 72 de la planche XIII.

En résumé, tandis qu'en sections verticales (perpendiculaires au plan de stratification) les cuticules présentent des aspects à peu près constants elles offrent dans les sections horizontales (parallèles au plan de stratification) des contours et des formes extrêmement compliqués et variés.

Ce dernier caractère pouvait être prévu facilement par l'examen des sections verticales elles mêmes qui nous montrent que les corps figurés auxquels elles appartiennent affectent l'allure de lames d'une certaine étendue. Dans ces conditions, les cuticules de surfaces relativement grandes éprouvaient en s'immergeant dans les eaux de la lagune houillère des résistances qui variaient suivant les points et qui ont déterminé les plissements ou les ondulations que nous observons fréquemment en section verticale.

Dans les houilles les cuticules ne présentent qu'exceptionnellement des surfaces planes, mais montrent, au contraire, des *surfaces onduleuses* et *plissées* qui expliquent leur morcellement apparent et irrégulier en *sections horizontales*.

Ce morcellement pouvant varier à l'infini suivant les hasards des plissements et des ondulations on comprend facilement que l'aspect de telles sections horizontales ne présente jamais les caractères typiques et constants que l'on demande à des préparations destinées à des déterminations spécifiques.

Dans les charbons de cuticules les sections verticales sont beaucoup plus instructives que les sections horizontales dont l'étude ne présente d'intérêt qu'au point de vue de la morphologie de ces corps figurés. C'est pour cette raison que j'ai surtout figuré les cuticules en sections perpendiculaires au plan de stratification en me bornant à donner quelques photographies convenablement choisies de surfaces taillées parallèlement à cette même direction.

Dans les sections verticales elles-mêmes les plissements des cuticules peuvent déterminer, beaucoup plus rarement il est vrai, des contours très polymorphes tels que ceux des figures 78 à 81 (Pl. XV).

## B

### Caractères des Substances incluses entre les Cuticules.

Comme nous l'avons vu précédemment et comme le montrent surtout les sections verticales, les cuticules limitent généralement des espaces clos dont les caractères sont nettement différents de ceux de la houille encaissante.

Les zones internes des cuticules sont le plus souvent transformées en houille brillante et présentent au microscope métallographique l'aspect d'une substance amorphe colloïdale sans aucune trace de structure (Pl. XII, Fig. 59 à 64 ; Pl. XIII, Fig. 68, 69, 70a, 70b, 72 ; Pl. XIV, Fig. 75, 76a, 76b, Pl. XVI, Fig. 82 ; Pl. XVII, Fig. 87 et 88).

Parfois l'on observe des vestiges d'organisation, certaines substances occupant toujours la partie médiane ayant été fossilisées au moins partiellement (régions marquées N sur les figures suivantes (Pl. XII, Fig. 58a, 58b, 58c ; Pl. XVII, Fig. 89 à 91 etc.).

Enfin, dans certains cas les masses internes des cuticules présentent des aspects granuleux qui grâce à leur comparaison avec d'autres corps figurés que nous étudierons plus loin <sup>(1)</sup> peuvent être considérés comme les vestiges d'une structure cellulaire.

Cet aspect granuleux est bien visible dans les figures 71b et 73 de la planche XIII et peut ainsi être observé dans la figure 66 (I) de la planche XII.

(1) Voir le développement réservé aux corps résineux et aux contenus cellulaires résinifiés. Chapitre 6<sup>e</sup>.

La substance interne des cuticules représente donc des tissus profondément altérés et transformés généralement en substance amorphe, colloïdale, sans structure contenant des vestiges des parties les plus résistantes. Dans certains cas favorables les membranes cellulaires ont bien disparu, mais les contenus cellulaires fossilisés ont gardé leur individualité (Pl. XIII, Fig. 71 b et 73).

Cette origine de la substance de remplissage des cuticules à partir des tissus internes des organes dont elles dérivent est encore mise en évidence par le fait qu'on ne rencontre jamais dans ces masses gélifiées, qui rappellent par leur aspect la pâte de la houille encaissante, les corps figurés que l'on observe dans cette dernière. Ce caractère, bien visible dans toutes les microphotographies publiées est plus particulièrement net dans les figures (58a, 58b, 58c), 59 à 63 (P. XII), 68 à 73 (Pl. XIII), 75, 76a, 76 b (Pl. XIV), 82 (Pl. XVI), 87 à 89 (Pl. XVII), 92a, 92b (Pl. XVIII), implique pour ces masses internes une origine différente de celle des masses de houille adjacentes.

Assez fréquemment les substances ligneuses (vaisseaux ligneux, fibres lignifiées) ont été fossilisées et demeurent bien visibles au milieu de la masse amorphe représentant les autres tissus de l'organe. Cette fossilisation peut être partielle, des vestiges seulement pouvant être observés (Pl. XII, Fig. 58a, 58b, 58c, 65a, 65b ; Pl. XVIII, Fig. 92a, 92b) ou à peu près complète, seules les parties celluloses des tissus ligneux (membrane moyenne) ayant disparu (Pl. XVII, Fig. 89, 90 et 91).

En dernière analyse, les corps figurés limités par les cuticules sont des organes dont toute la masse a été fossilisée dans le cas le plus général, mais dont les constituants présentent des états de conservation très différents. L'enveloppe externe protectrice formée par la cutine est bien conservée, tandis que les tissus internes ont subi presque toujours une gélification totale et ne présentent plus que des traces de structure cellulaire. Dans certaines circonstances les substances lignifiées ont résisté et sont encore visibles (N, Pl. XVII, Fig. 89, 90 et 91).

La masse des tissus internes moins résistants peut avoir subi une destruction partielle ou totale (transformation en produits solubles) et l'organe se vidant plus ou moins les cuticules inférieures et supérieures se sont affaissées les unes sur les autres en se plissant (Pl. XVIII, Fig. 92a et 92b) ou en s'accolant étroitement (Pl. XV, Fig. 77).

Enfin, les cuticules peuvent se détacher les unes des autres et se retrouver entières ou en fragments isolés au milieu des autres corps figurés de la houille (Fig. 74 (Pl. XIV), Fig. 77 à 81 (Pl. XV), Fig. 82, 86 (Pl. XVI), Fig. 93 à 97 (Pl. XVIII)). Dans ce cas, les substances internes des feuilles, mises en solution, ont contribué à la formation de la pâte de la houille encaissante.

## C

### Gisement des Cuticules houillères.

#### *Leur stratification et leur classement.*

Le caractère le plus frappant des veines de houille contenant des cuticules ou des feuilles est leur stratification particulièrement nette. Ce caractère apparaît surtout dans les sections verti-

cales où les feuilles sont toujours étalées parallèlement au plan de stratification ou occupent des positions très légèrement obliques par rapport à cette direction.

Un autre caractère très important est que le tassement subi par les cuticules est très faible. Les différentes feuilles superposées dans un même bloc de houille ne se trouvant pas accolées, du moins dans le cas le plus général, paraissent être en suspension et en équilibre dans la masse encaissante. Cette particularité de structure peut s'observer sur les différentes photographies des Planches XII, XIV et XVII, mais apparaît encore plus nettement dans la figure 89 de la planche XVII où l'on voit plusieurs feuilles superposées ne se touchant pas, et séparées les unes des autres par de minces lits de pâte (substance fondamentale) contenant des microspores.

Les dispositions toujours semblables des sections de feuilles dans une même coupe verticale et l'alignement fréquent des cuticules dans les sections horizontales (Fig. 71, Pl. XIII) indiquent que ces corps figurés sont à la fois stratifiés et disposés parallèlement les uns aux autres comme les brindilles de paille entraînées par un courant d'eau animé d'une faible vitesse.

Comme les spores, les cuticules ou feuilles ne se rencontrent pas indifféremment dans toutes les variétés de houille, mais se trouvent presque exclusivement localisées dans les charbons à hautes teneurs en matières volatiles (M. V. > 26%, h. grasses maréchales, h. grasses à gaz, h. flambantes). On les rencontre fréquemment associées aux macrospores, mais il existe des combustibles où les cuticules deviennent prédominantes et qui méritent le nom de *charbons de cuticules* ou *charbons de feuilles*.

Tous ces caractères qui impliquent un *classement* des corps figurés cutinisés et la localisation de leur dépôt dans certaines régions du marécage houiller ne peuvent s'expliquer qu'en admettant l'action de certains agents qui pour les feuilles et les cuticules consistaient principalement en des transports par des eaux calmes (flottage) et plus rarement par les vents. Ce classement se traduit par la formation de lits de houille qui présentent les caractéristiques suivantes :

1° — *Lits riches en cuticules* (Charbons de cuticules types) qui forment parfois toute l'épaisseur d'une veine de houille <sup>(1)</sup>, mais qui le plus souvent sont intercalés dans des lits de charbon de spores.

2° — *Lits riches à la fois en macrospores et en cuticules* se rencontrant fréquemment intercalés dans les charbons de spores.

3° — *Lits riches en macrospores* où les cuticules ne se rencontrent qu'accidentellement.

Les charbons de cuticules, comme les charbons de spores et les cannel-coals, auraient donc une origine allochtone (formation par transport), origine qui n'implique pas forcément un transport à longue distance.

## D

### Origines des Cuticules houillères.

Les cuticules surtout existent chez les végétaux à la surface des feuilles qui sont toujours protégées par une couche plus ou moins épaisse de cutine. Dans les feuilles où le limbe est hori-

(1) La Veine Dusouich de Liévin présente souvent ce caractère.

zontal ou peu incliné la cuticule de la face supérieure est toujours plus épaisse que celle de la face inférieure. Dans les feuilles dressées qui ont généralement la forme de lames assez étroites la couche de cutine est de même épaisseur sur les deux faces.

On rencontre encore les cuticules à la surface des jeunes tiges et des jeunes rameaux des plantes ligneuses et chez les plantes herbacées où elles forment la couche protectrice de toutes les parties aériennes. La morphologie des cuticules houillères ne laisse guère de doute sur leur origine et sur la nature des organes dont elles dérivent. Nous avons vu en effet que ces derniers affectent constamment l'allure de lames aplaties parallèlement au plan de stratification et présentant des terminaisons aiguës en sections verticales, caractères qui nous montrent que ces organes avaient des bords tranchants. D'autre part, les tissus internes de ces organes étaient dépourvus de masses ligneuses importantes, ces dernières, lorsqu'elles existent, étant toujours localisées dans la région médiane (Pl. XII, Fig. 58a, b, c ; Pl. XVII, Fig. 89 à 91, etc.).

Toutes ces considérations conduisent à admettre que la plupart des cuticules des charbons proviennent d'organes aplatés et par conséquent de feuilles. L'existence de bords tranchants (Fig. 36<sup>b</sup>) qui indique une symétrie bilatérale et écarte l'hypothèse d'une symétrie radiaire est le principal argument en faveur de cette opinion.

À côté des cuticules de feuille qui sont de beaucoup les plus nombreuses on rencontre des cuticules à terminaisons arrondies (Pl. XIII, Fig. 71a, 71b ; Pl. XIV, Fig. 75), qui dans la plupart des cas ont la même origine, mais qui pourraient être aussi attribuées avec quelques vraisemblances à des pétioles ou à des jeunes rameaux. L'absence de masses ligneuses importantes à l'intérieur des cuticules semble plutôt indiquer que la première détermination est préférable à la seconde.

Quant à l'origine de ces feuilles les différences d'épaisseurs et de dimensions des cuticules semble bien montrer qu'elles appartaient à différentes espèces.

Les portions de feuilles représentées par les figures 71a et 71b de la planche XIII qui sont de grande dimension et dont les cuticules sont très épaisses dérivent vraisemblablement d'une feuille charnue de *Cordaïte*.

Les cuticules figurant sur les microphotographies 58a, b, c ; 59 à 67 de la planche XII peuvent être considérées comme des sections à différents niveaux de feuilles aciculaires et étroites de *Calamites* ou de *Lépidophytes* (Sigillaires, Lépidodendrons), mais peuvent être également interprétées comme des sections des pinnules de feuilles très découpées de *Fougères* ou de *Cycadofilicinées*.

En résumé, les cuticules de la houille dérivent principalement des feuilles des végétaux c'est-à-dire d'organes en forme de lames et présentant de grandes surfaces de contact entièrement recouvertes d'un enduit imperméable de cutine, tous caractères qui impliquent une grande flottabilité.

Les cuticules très résistantes ont conservé leur structure tandis que les tissus vivants de la feuille, leurs contenus protoplasmiques et les substances de réserves ont donné par gélification ou résinification la houille brillante amorphe sans structure qui se trouve englobée par elles. Les vaisseaux ligneux des nervures des feuilles subsistent parfois au milieu des masses gélifiées des autres tissus des feuilles.

### Conclusions de l'étude morphologique des cuticules.

En résumé, l'étude morphologique des cuticules des houilles du nord de la France et du gisement de ces débris végétaux permet de mettre en évidence un certain nombre de faits d'observation nouveaux dont les principaux sont les suivants :

1<sup>o</sup> — *La localisation des cuticules* dans certaines veines de houille.

2<sup>o</sup> — *L'existence de certaines veines de houille formées presque exclusivement d'accumulations de cuticules* qui se sont déposées dans certaines régions des bassins de sédimentation après avoir subi des phénomènes de transport d'une certaine amplitude.

3<sup>o</sup> — *L'association fréquente des cuticules et des microspores et celle relativement plus rare des cuticules et des macrospores* avec comme corollaires :

a) L'équivalence des coefficients de transportabilité des cuticules et des microspores.

b) Des différences sensibles dans les coefficients de transportabilité respectifs des macrospores, d'une part, des cuticules et des microspores, d'autre part.

4<sup>o</sup> — *La prédominance du rôle joué par les feuilles des plantes houillères* dans la genèse de certaines <sup>(1)</sup> de nos veines de houilles flambantes.

5<sup>o</sup> — *La grande résistance des substances cutinisées* aux agents de destruction, fait bien mis en évidence par la fossilisation constante des pellicules cutinisées (cuticules) et la destruction ou tout au moins la désorganisation fréquente des tissus ligneux qui leur sont associés.

6<sup>o</sup> — *L'existence et l'action d'agents de classement* qui déterminaient dans certaines régions de la lagune houillère la formation de veines ou de parties de veines de houille de cuticules, tandis qu'en d'autres points ces mêmes cuticules se retrouvent associées aux microspores et parfois aux macrospores. L'interstratification dans une même veine de lits de charbon de cuticules et de lits de charbon de spores et le passage graduel des deux types de charbons de cutine l'un à l'autre sont des faits d'observation constants qui impliquent un classement mécanique supposant lui-même des phénomènes de transport sinon très importants du moins d'une certaine amplitude.

Je n'insisterai pas ici sur cette dernière conclusion qui sera reprise dans les chapitres où j'étudierai le mode de formation des veines de houille du Nord de la France.

## IV

### CARACTÈRES SPÉCIFIQUES DES SUBSTANCES CUTINISÉES

En lames minces les substances cutinisées ne présentent pas de caractères spécifiques permettant de les distinguer des autres corps jaunes lorsque l'on ignore la forme générale des organismes dont elles dérivent.

Comme je l'ai dit précédemment, examinée par transparence la cutine est translucide et colorée du jaune à l'orangé vraisemblablement suivant l'épaisseur des préparations. Ces colo-

(1) Dans l'état actuel de nos connaissances les veines de houille flambante caractérisées par la prédominance des *cuticules* sont beaucoup moins nombreuses que celles essentiellement formées de *spores*.



ractions ne sont pas particulières à la cutine et semblent être communes à toutes les substances transparentes des charbons.

Ce caractère n'avait pas échappé à C. EG. BERTRAND [66] qui avait déjà distingué parmi les corps jaunes des Bogheads, des Cannels Coals et des Schistes bitumineux :

- 1° — Les Spores et les Cuticules (substances cutinisées)
- 2° — Les Corps résineux
- 3° — Les Algues

substances ayant des compositions chimiques très différentes, mais présentant en lame mince le caractère commun d'être transparentes et teintées en jaune ou en orangé.

Plus récemment, les travaux de M<sup>me</sup> M. C. STOPES [608 et 611] ont montré que les lits de houille brillante (Vitrain) formés entièrement de substance amorphe colloïdale sans structure présentent ces mêmes caractères (transparence et coloration en jaune ou en orangé suivant l'épaisseur de la lame mince).

Dans ces conditions, ces caractères ne peuvent être considérés comme étant spécifiques des substances cutinisées et il est impossible en lame mince de distinguer un lambeau de spore ou de cuticule d'un fragment de corps résineux ou d'une plage de houille amorphe (Vitrain).

Au contraire, dans les surfaces de houille préparées par simple polissage la cutine présente des caractères spécifiques constants qui permettent de déterminer comme substance cutinisée un lambeau informe de macrospore ou de cuticule.

Ces caractères sont les suivants :

1° — La Cutine qui est de toutes les substances végétales celle qui a résisté le mieux aux agents de destruction et de transformation est plus dure que la pâte de la houille qui l'enrobe et résiste mieux qu'elle à l'usure par les poudres abrasives. Il en résulte que les substances cutinisées se trouvent toujours en relief, caractère que l'on observe au microscope métallographique, mais qui est surtout visible à l'œil nu, à la loupe ou au microscope binoculaire.

2° — La Cutine présente soit à l'observation directe, soit dans les épreuves photographiques et dans les reproductions phototypiques, une teinte grise caractéristique <sup>(1)</sup> qui permet d'identifier des fragments de cuticule ou de spore en l'absence de caractères morphologiques.

3° — En règle générale, la cutine présente une structure homogène qui est particulièrement nette dans les microphotographies à fort grossissement (Pl. IV, Fig. 14 à 17 ; Pl. X, Fig. 51 et 52 ; Pl. XI, Fig. 53 à 57 ; Pl. XVI, Fig. 83 à 85).

4° — Enfin, dans un petit nombre de cas la cutine présente une structure granuleuse ou réticulée.

J'ai pu observer la structure granuleuse qui avait déjà été décrite en lame mince par B. RENAULT [527] dans des exines de macrospores de la houille de Micklefield près Leed (Angleterre) [182] et de Puertollano (Espagne) [204].

(1) La teinte grise des substances cutinisées est assez voisine de celle des algues, mais comme nous le verrons plus loin ces derniers organismes n'existent pour ainsi dire pas dans les houilles proprement dites et présentent une organisation particulière qui permet de les distinguer des spores.

La structure réticulée est bien visible sur les deux cuticules inférieures de la figure 74 de la Planche XIV.

Cette réticulation qui à première vue pouvait faire croire à une structure cellulaire est, en réalité, le résultat d'une sorte de guillochage de la cuticule au cours des opérations de polissage. On peut en effet observer le passage graduel des stries de polissage à la structure réticulée nette.

Cette structure particulière apparaît surtout dans les cuticules qui présentent un fort relief et offrent par conséquent plus de prise aux grains de la poudre abrasive, elle est plus accentuée dans les cuticules minces que dans les autres. L'aspect gris foncé des cuticules des deux feuilles inférieures de la figure 89 de la planche XVII est imputable à un dépoli de ce genre.

Des structures réticulées de ce type apparaissent fréquemment au cours des opérations de polissage des lits de houille brillante (Vitrain) et ont été décrites à tort comme structure cellulaire de ce constituant macroscopique des houilles <sup>(1)</sup>. Un traitement convenable fait disparaître cet aspect, qui est caractéristique des surfaces mal polies, et met en évidence la texture homogène amorphe et colloïdale de la substance.

J'ai pu observer fréquemment au cours des opérations de polissage que dans certaines conditions <sup>(2)</sup> des réticulums du même type prennent naissance sur n'importe quel charbon et masquent la structure vraie de l'échantillon. Un polissage correct fait disparaître ces structures secondaires et révèle la texture réelle de la roche.

On voit par l'exposé précédent que les opérations de polissage sont délicates et doivent être menées méthodiquement pour éviter de graves erreurs. Il est préférable qu'elles soient exécutées entièrement par le micrographe qui étudie les surfaces polies plutôt que d'être confiées à un aide si habile soit-il.

### Conclusions du Chapitre cinquième.

En résumé, l'étude morphologique des substances cutinisées des houilles par examen de surfaces simplement polies en lumière réfléchie a permis de mettre en évidence un certain nombre de faits d'observation qui contribuent à l'accroissement de nos connaissances sur la structure microscopique des combustibles. Parmi ces faits d'observation les plus importants sont les suivants :

1<sup>o</sup> — Les substances cutinisées offrent en surfaces polies des *caractères spécifiques* qui permettent de les déterminer même en l'absence des structures typiques des débris végétaux dont elles proviennent. Elles représentent les substances organiques *les plus résistantes* des végétaux, les cuticules des feuilles se retrouvant constamment fossilisées alors que les tissus ligneux adjacents (nervures) ont presque toujours perdu leur organisation.

(1) Voir : E. STACH. — [584], Fig. 19, p. 92 et [582].

(2) La condition la plus favorable à la production de ces structures réticulées semble être l'encrassage du disque à polir qui produit à l'œil nu un brillant spéculaire, mais qui est générateur d'aspects particuliers masquant complètement la structure vraie du charbon.

2° — Les substances cutinisées ont joué dans la formation des veines de houille *des rôles dont l'importance était méconnue jusqu'ici*, la plupart des belles veines de charbon du Bassin du Pas-de-Calais étant entièrement constituées du toit au mur par des accumulations de spores et de cuticules et ne renfermant qu'en proportions relativement faibles des débris de tissus ligneux et des corps résineux.

3° — La concentration des spores et des cuticules dans les charbons de cutine et l'absence ou l'extrême rareté de ces mêmes débris végétaux dans les charbons ligno-cellulosiques ne peuvent s'expliquer, comme nous le verrons plus loin, que par un *classement mécanique* qui suppose lui-même la *formation par transport* des veines de houille ; transport qui sans atteindre l'ampleur que lui attribuait FAYOL était suffisamment important pour provoquer la répartition des spores et des cuticules en des points de la lagune houillère différents de ceux où se déposaient les débris de tissus ligneux.

4° — La répartition même des macrospores, des microspores et des cuticules dans les différents types de charbons de cutine (charbons de spores, charbons de cuticules, charbons de spores et de cuticules) met en évidence l'action d'*agents de transport* seuls capables d'avoir pu effectuer mécaniquement le classement de ces débris en déterminant ainsi la formation des divers types en question.

Toutes ces observations, qui soulignent l'étroite parenté des charbons de cutine avec les Cannel-Coals (Gayets) <sup>(1)</sup> ou charbons de microspores auxquels les partisans de la formation sur place (théorie autochtone) reconnaissent une origine allochtone, conduisent logiquement à attribuer une origine semblable aux houilles de cutine et de cuticules qui sont de beaucoup les plus nombreuses du Bassin franco-belge et des autres gisements européens ou mondiaux <sup>(2)</sup>.

(1) Le terme *Cannel Coal* est pris ici dans le sens de combustible à grain fin riche en matières volatiles. A peu près universellement admis, ce terme s'oppose à celui de *Pseudo Cannel Coal* employé pour désigner des charbons d'aspects analogues, mais pauvres en matières volatiles.

(2) De l'ensemble des connaissances aujourd'hui acquises on peut conclure que toutes les houilles bitumineuses sont des charbons de cutine.

## CHAPITRE SIXIÈME

# Les corps résineux et les tissus à contenus cellulaires fossilisés

### PLANCHES XIX A XXVI

#### SOMMAIRE.

- INTRODUCTION. — Définition du terme « Corps résineux ». — Les différents types d'appareils sécréteurs.
- I. — MORPHOLOGIE DES CORPS RÉSINEUX. — Les différents types d'appareils sécréteurs des houilles paléozoïques.  
— A. *Tissus entièrement fossilisés.* — B. *Tissus partiellement fossilisés.* — C. *Amas de résine.* — D. *Corps résineux unicellulaires.*
- II. — GISEMENTS DES CORPS RÉSINEUX. — Leur signification dans les lits de houille brillante (Vitrain).
- III. — CARACTÈRES SPÉCIFIQUES DES SUBSTANCES RÉSINEUSES DES HOUILLES.
- IV. — ORIGINE DES SUBSTANCES RÉSINEUSES DES HOUILLES.
- CONCLUSIONS DU CHAPITRE SIXIÈME.

#### Définition du terme « Corps résineux ».

Le développement qui va suivre comprendra l'étude de tous les corps figurés des houilles qui présentent un caractère commun celui d'être formé en majeure partie de *contenus cellulaires fossilisés*.

Comme nous le verrons plus loin ces corps figurés peuvent avoir des dimensions, des formes et des aspects très variables suivant que la totalité du tissu (membranes et contenus cellulaires) a été conservée, que les membranes ont disparu, les contenus cellulaires restant néanmoins accolés, ou que séparés les uns des autres ils se trouvent isolés au milieu des autres corps figurés.

Tous ces corps figurés correspondent à ceux qui ont été décrits par C. EG. BERTRAND [44 à 73] comme une des variétés de *corps jaunes* des Bogheads et des Cannel-Coals et que M. J. LOMAX a désignés ([423] et [424]) et figurés sous les noms de *Ovalites resinous*, *d'Amberites* et de *Resinous band* dans certaines houilles anglaises.

Des substances considérées comme *résineuses* ont été décrites et figurées par MM. WHITE [671] et THIESSEN [639], WHEELER et WIGGINTON [669] et GREESLEY [288].

Les termes *corps résineux* et *résines* ont été utilisés par ces différents auteurs pour désigner des corps à contours généralement irréguliers, transparents en lames minces et présentant dans ces conditions des structures homogènes et des teintes variant du jaune à l'orangé et au brun.

Pour faciliter l'exposé je continuerai à employer les termes *corps résineux* et *granules rési-*

*neux* pour nommer les corps figurés formés en majeure partie de contenus cellulaires fossilisés bien qu'il soit infiniment probable que certains d'entre eux n'ont pas une origine résineuse, mais dérivent d'autres substances végétales. Étant données les difficultés de distinguer ces dernières des résines vraies et que, d'autre part, le rôle joué par les corps figurés de ce type dans les différentes variétés de houille est peu important eu égard à celui d'autres substances végétales, il m'a semblé inutile de compliquer la nomenclature en créant deux termes différents dont l'emploi serait du reste assez malaisé.

J'utiliserai donc les termes *corps résineux* et *granules résineux* pour désigner respectivement les tissus à *contenus cellulaires conservés* et les *contenus cellulaires fossilisés isolés*.

Cette réserve exprimée, il est certain que beaucoup de ces corps figurés représentent des vestiges des appareils sécréteurs et des cellules sécrétrices des végétaux houillers. Aussi avant d'aborder leur description morphologique j'étudierai brièvement la formation des résines et des essences et les différents types morphologiques d'appareils sécréteurs des végétaux actuels.

### Les différents types d'appareils sécréteurs.

#### *Formation des essences et des résines dans la cellule végétale.*

#### *Différents types d'appareils sécréteurs des végétaux actuels* <sup>(1)</sup>.

Les essences sont des produits d'excrétion des végétaux qui s'accumulent dans le protoplasme de certaines cellules (cellules sécrétrices). Les *essences* et les *huiles essentielles* qui sont des liquides aromatiques donnent naissance en s'oxydant à des substances solides, les *résines*.

Le mode de formation des essences n'est pas encore déterminé d'une façon parfaite. Certains admettent qu'elles se différencient dans des vacuoles spéciales du protoplasme, tandis que d'autres estiment qu'elles s'individualisent toujours dans une couche gélifiée de la membrane qui, sous l'influence du liquide accumulé, fait vésicule dans le lumen et finit par crever dans la cellule qu'elles remplissent.

Quelle que soit l'origine des résines et des essences (altération de la membrane ou sécrétion du protoplasme) l'observation montre que ces substances s'accumulent dans le protoplasme des cellules sécrétrices sous forme d'innombrables gouttelettes ou granules qui modifient considérablement la composition chimique du contenu cellulaire. Cette modification est telle qu'elle a, comme nous le verrons plus loin, entraîné la fossilisation du protoplasme alors que les tissus voisins, et même les membranes cellulaires, disparaissaient complètement.

Sans aborder, ici, l'étude détaillée des variations de l'appareil sécréteur des végétaux, je définirai, succinctement, les formes de cet appareil qui nous permettront d'expliquer les structures que nous rencontrerons dans la houille.

Les essences et les résines peuvent prendre naissance dans l'épiderme des végétaux, soit dans des cellules épidermiques ordinaires (pétales de la rose), soit dans les cellules épidermiques spécialisées et transformées en poils sécréteurs (feuilles de menthe).

(1) Je ne parlerai pas ici des compositions chimiques des essences et des résines qui ont été données antérieurement [194].

Les cellules sécrétrices peuvent être situées dans les tissus profonds des végétaux et constituer, alors, un appareil sécréteur interne.

Dans sa forme la plus simple l'appareil sécréteur interne d'un végétal peut être constitué par des *cellules isolées*, disséminées irrégulièrement dans un parenchyme comme c'est le cas pour la feuille du laurier. Ces cellules, généralement plus grandes que leurs voisines, sont arrondies et renferment dans leur protoplasme de nombreuses gouttelettes d'huiles essentielles.

Dans certains végétaux (cellules à tannin de la tige du rosier) les cellules sécrétrices forment des files simples ou ramifiées tout en gardant des dimensions sensiblement égales dans tous les sens. Ces cellules peuvent rester indépendantes, mais dans certains végétaux il peut s'établir entre elles différentes relations susceptibles de faciliter les échanges de substances. Ces cellules peuvent s'allonger et leurs parois en contact présenter des régions plus minces (bulbe de l'oignon) ou des perforations (chélidoine) tandis que dans d'autres cas les dites parois communes disparaissent complètement (euphorbe). Dans ce dernier cas l'appareil sécréteur est constitué par des files de cellules communiquant largement entre elles, s'étendant d'un bout à l'autre du végétal et remplies par un latex riche en gouttelettes de résine. Ces files de cellules sécrétrices peuvent se disposer radiairement (pin) en laissant entre elles un méat ou vide où viennent s'accumuler les résines, elles constituent alors un *canal sécréteur*.

Dans certaines plantes (oranger) les cellules sécrétrices se réunissent autour d'un méat arrondi où s'accumulent les huiles essentielles. L'ensemble constitue alors une *poche sécrétrice* qui n'est qu'un canal sécréteur court. Il existe toutes les formes de passage entre les deux types complexes d'appareils sécréteurs, types qui peuvent coexister dans un même végétal (feuilles de millepertuis).

Quelle que soit sa forme l'appareil sécréteur des végétaux est toujours nettement individualisé dans la masse des tissus adjacents. Dans les végétaux houillers cette individualisation était telle qu'elle a persisté après leur mort et que l'on retrouve leurs cellules ou poches sécrétrices et leurs canaux sécréteurs partiellement ou complètement fossilisés et isolés par suite de la destruction ou de la désorganisation totale des autres parties de la plante. La conservation de ces cellules particulières peut être attribuée à la résinification des essences contenues dans leur protoplasme.

## I

### Morphologie des corps résineux.

Comme nous le verrons au cours de l'exposé qui va suivre, nous retrouverons dans la houille des appareils sécréteurs analogues à ceux des végétaux actuels, mais à leurs structures originelles viennent se superposer des structures secondaires qui résultent des altérations et des modifications plus ou moins profondes qui ont affecté ces substances au cours de leur fossilisation.

Je serai donc amené à étudier et à décrire successivement :

1° — Les Corps résineux formés de tissus entièrement conservés où les contenus cellulaires et les membranes ont été fossilisés.

2° — Les corps résineux formés de tissus où les contenus cellulaires sont seuls bien conservés les membranes ayant disparu ou étant en voie de désintégration.

- 3<sup>o</sup> — Les Corps résineux constitués par des amas de résine.  
 4<sup>n</sup> — Les Corps résineux constitués par des contenus cellulaires isolés.

## A

## Corps résineux formés de Tissus entièrement conservés.

## PLANCHE XIX

Le meilleur type de ces tissus m'a été fourni par une houille provenant des Mines domaniales de la Sarre représentée par les figures 98 à 101 de la Planche XIX.

Les figures 98 R<sub>5</sub> et 99 (Cc) de cette planche montrent à différents grossissements un même lambeau de tissu dont la fossilisation est parfaite.

La figure 99 surtout permet de se rendre compte que les cellules ont conservé les contours polyédriques qu'elles avaient à l'état vivant.

Les *contenus cellulaires* (Cc) ont été transformés en une substance homogène amorphe grise un peu plus claire que la cutine des spores. Ils occupent généralement toute la cavité des cellules qu'ils remplissent complètement, mais dans certains cas (une des cellules médianes de la région gauche de la figure 99) leur centre est occupé par un vide résultant du retrait de la masse protoplasmique au cours de son durcissement.

Les *membranes cellulaires*, cellulodiques, minces, sont bien conservées et apparaissent sous forme d'un réseau blanc et brillant.

Ces différentes figures qui sont des sections verticales (perpendiculaires au plan de stratification) montrent que ces tissus ont résisté à l'aplatissement, caractère qui peut s'expliquer, soit par durcissement antérieurement à leur immersion, soit par les fortes tensions superficielles des substances molles dont elles étaient formées, tensions qui étaient suffisantes pour équilibrer les forces (action de la pesanteur, poids de la lame d'eau surplombante) capables de les déformer.

Un deuxième exemple de tissus entièrement fossilisés m'a été donné par une houille du Charbonnage des Produits (Belgique) que j'ai décrite antérieurement [194] et qui est représentée à grossissements moyens par les figures 1 et 2 [194] et à grossissement fort par la figure 115 (Pl. XXII). La figure 1 qui a été obtenue par macrophotographie montre l'allure générale de ces corps résineux et leur mode de gisement. Ces masses pluricellulaires sont globuleuses, pyriformes, leur aspect général rappelant celui de certains amas de résine de combustibles plus récents <sup>(1)</sup>; elles ont résisté à l'aplatissement qui affecte les macrospores et les microspores au milieu desquelles elles sont stratifiées. Malgré l'absence d'aplatissement ces amas résineux sont néanmoins nettement stratifiés en ce sens que leur grand axe est toujours sensiblement parallèle au plan de stratification marqué sur la figure 2 par l'étalement des macrospores. L'aspect que présentent les masses cellulaires de cette dernière figure est assez différent de celui que l'on observe sur les microphotographies 98 et 99 (Pl. XIX).

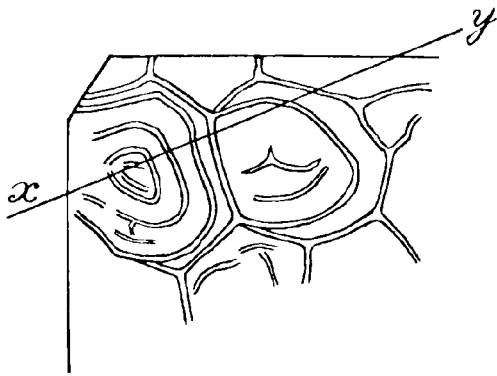
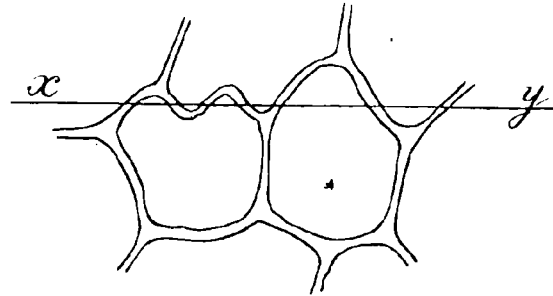
Les cellules de ces corps résineux n'ont plus leurs contours polyédriques réguliers, elles

(1) Certains amas de résine du charbon tertiaire de Fu Shun (Mandchourie) [203] présentent des aspects très voisins.

sont parfois très déformées et même lorsqu'elles ont conservé des contours à peu près normaux (Pl. XXII, Fig. 115) les contenus cellulaires sont fortement plissés.

Ces déformations des cellules semblent dues au mode de fossilisation des contenus cellulaires qui ont subi au cours de leur durcissement des augmentations de volume importantes et se sont déformés mutuellement en provoquant des plissements et des ondulations des membranes cellulodiques.

Ce sont ces plissements des membranes qui expliquent les particularités de structure des corps résineux des figures 100 ( $R_2$ ) et 101 ( $R_2, R_3$ ) (Pl. XIX) où l'on voit des sections de membranes au centre des masses protoplasmiques fossilisées. La figure schématique ci-contre

FIGURE 56<sup>t</sup>FIGURE 57<sup>t</sup>

Figures schématiques expliquant l'aspect de certains tissus sécréteurs fossilisés (Corps résineux).

FIG. 56<sup>t</sup>. — Dessin représentant l'angle supérieur gauche de la Fig. 115 (Pl. XXII). —  $x y$ , trace du plan de la section hypothétique de la Fig. 57<sup>t</sup>.

FIG. 57<sup>t</sup>. — Schéma expliquant les structures encapuchonnées de la Fig. 56<sup>t</sup> par des plissements des membranes cellulaires du tissu sécréteur au cours de sa fossilisation. —  $x y$ , trace du plan de la section de la Fig. 56<sup>t</sup> (Fig. 115, Pl. XXII).

(Fig. 57<sup>t</sup>) permet de se rendre compte que de légers plissements des membranes analogues à ceux que l'on observe dans le plan de la section peuvent, s'ils se sont développés aussi dans le sens perpendiculaire, provoquer des structures identiques à celles que montrent ces contenus cellulaires (Fig. 56<sup>t</sup> et 115, Pl. XXII).

Les structures très particulières représentées par la figure 115 (Pl. XXII) peuvent aussi être dues aux déformations mutuelles des contenus cellulaires et aux plissements très accentués des membranes. On peut également les attribuer à une structure encapuchonnée des masses protoplasmiques. Cette structure encapuchonnée peut s'expliquer facilement par le fait que chaque contenu cellulaire augmentant de volume au cours de son durcissement se trouvait comprimé par ses voisins, où se déroulaient les mêmes phénomènes, et était par conséquent soumis à des pressions dirigées en tous sens et convergeant vers son centre. Une fois la limite d'élasticité de leur substance dépassée, ces pressions ont provoqué dans leur masse des ten-



sions internes qui se sont manifestées par l'apparition de surfaces de clivages ou de glissement affectant l'allure de sphères concentriques plus ou moins régulières <sup>(1)</sup>.

A côté de ces masses cellulaires importantes, formées d'un grand nombre de cellules on rencontre des corps résineux de plus petites dimensions provenant de la fragmentation des premières et constitués parfois par quelques cellules seulement.

De tels fragments sont visibles sur les figures 98 ( $R_2$ ,  $R_3$ ), 100 ( $R_2$ ) 101 ( $R_2$ ,  $R_3$ ) de la planche XIX, 126a, 126b à 130 de la planche XXV et peuvent avoir deux origines.

Tantôt ils représentent les parties les plus résistantes de tissus résineux ou résinifiés comme ceux indiqués par les lettres  $R_2$  et  $R_3$  sur les figures 98 et 100 de la planche XIX. La figure 98 de cette même planche permet d'observer un amas de cellules résineuses  $R_1$ , identique au corps résineux  $R_2$  complètement isolé au milieu des microspores, mais encore englobé dans un tissu conservé dont il se différencie néanmoins par la teinte et l'état de conservation de ses parois. On se rend compte ainsi que  $R_2$  s'est trouvé isolé des tissus qui l'enveloppaient primitivement par suite de la destruction de la désorganisation de ces derniers.

Dans d'autres cas, ces corps résineux de petite taille proviennent de la fragmentation mécanique de masses plus importantes et présentent alors les contours irréguliers qu'ils montrent sur les figures 126a, 126b et 129 de la planche XXV.

Ces menus fragments présentent parfois des structures cellulaires nettes, mais le plus souvent leurs parois cellulaires forment un réseau assez discontinu comme ceux des corps résineux  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , de la figure 98,  $R_2$  de la figure 100,  $R_2$   $R_3$  de la figure 101 de la planche XIX; R des figures 122a et 122b de la planche XXIV. L'interruption des parois cellulaires n'est qu'apparente et résulte de ce que, par suite de plissements, certaines de leurs régions seulement sont coupées par la section plane, caractère qui s'explique par les mêmes considérations que celles que j'ai développées précédemment (Fig. 56<sup>t</sup> et 57<sup>t</sup>).

## B

### Corps résineux formés de tissus partiellement fossilisés et dissociés.

#### PLANCHES XX A XXII.

Fréquemment les corps résineux que l'on rencontre dans la houille ont subi une désorganisation partielle dont le mécanisme vient confirmer leur détermination en tant que corps résineux.

Les tissus sécréteurs des plantes houillères étaient constitués comme ceux des végétaux actuels par des cellules à membranes cellulodiques contenant un protoplasme riche en essences et en substances résineuses. Dans ces conditions le protoplasme des cellules sécrétrices représentait les parties les plus résistantes du tissu et était susceptible d'être fossilisé tandis que

(1) L'aspect du tissu fossilisé de la figure 115 (Pl. XXII) rappelle au premier examen une vue tangentielle de cellules épidermiques contenant des stomates. Une étude plus approfondie révèle des différences importantes qui ajoutées au fait du grossissement considérable de la figure 115 ( $\times 1020$ ) permettent d'écarter cette hypothèse.

les membranes plus attaquables pouvaient subir une liquéfaction ou une désorganisation totale, soit dans l'atmosphère, soit dans les eaux de la lagune houillère, soit encore au cours des premiers stades de la formation de la couche de roche combustible.

C'est précisément ce que l'on observe dans la houille où l'on rencontre fréquemment des tissus dont les contenus cellulaires sont fossilisés tandis que les membranes cellulaires ont disparu et sont remplacées par une substance amorphe ou une substance de remplissage.

Les figures 102, 103, (Pl. XX), 108, 109 (Pl. XXI) montrent des exemples de tels corps résineux où les contenus protoplasmiques des cellules ont gardé leur individualité propre tout en perdant leurs formes polyédriques par suite de la destruction des membranes cellulaires. Les espaces vides laissés par la disparition des dites membranes ont été remplis par une substance amorphe plus claire et, bien qu'isolés les uns des autres, les contenus cellulaires très nombreux sont restés réunis en masses globulaires (Pl. XXI, Fig. 108) ou allongées (Pl. XX, Fig. 102) dont les formes générales rappellent celles des poches sécrétrices dont elles dérivent.

Dans les deux cas cités précédemment (Fig. 102, 103, 108, 109) les contenus cellulaires semblent n'avoir subi au cours de leur fossilisation qu'une faible diminution de volume, les espaces qui les séparent correspondant à peu près à ceux occupés par la membrane cellulosique qui a disparu.

On observe fréquemment deux autres types de fossilisation des contenus cellulaires des tissus sécréteurs, types opposés représentés par les figures 110 et 111 (Pl. XXI) et entre lesquels se placent les deux cas étudiés précédemment (Pl. XX, Fig. 102, 103) (Pl. XXI, Fig. 108, 109) qui sont des types intermédiaires.

La fossilisation des contenus cellulaires s'est réalisée parfois avec une *diminution de volume* considérable (Pl. XXI, Fig. 110), dans ce cas les masses protoplasmiques ont des contours arrondis, à sections circulaires ou elliptiques, tandis que les espaces qui les séparent, beaucoup plus importants que ceux occupés primitivement par les membranes disparues, sont généralement comblés par une substance granuleuse noire analogue à celle qui remplit les cavités cellulaires des tissus ligneux <sup>(1)</sup>.

Les deux figures 3 et 4 [194] représentent un corps résineux analogue à celui de la figure 110 (Pl. XXI) que j'ai décrit en détail dans une note antérieure [194] <sup>(2)</sup>.

Dans les deux cas (Fig. 110, (Pl. XXI), (Fig. 3 et 4 [194])) les contenus cellulaires forment des masses globulaires non aplaties et dérivent de poches sécrétrices de dimensions relativement grandes.

Au contraire, dans d'autres circonstances la fossilisation des masses protoplasmiques s'est trouvée réalisée avec une *augmentation de volume* de sorte que les espaces laissés libres par la disparition de la membrane cellulosique se trouvent partiellement (Pl. XXI, Fig. 111) ou complètement (Pl. XXII, Fig. 114) comblés.

Lorsqu'il subsiste encore des vestiges des espaces correspondant aux membranes disparues, les contenus cellulaires ont des contours arrondis et les vides qui existent entre eux

(1) Cette substance granuleuse noire est souvent riche en grains de bisulfure de fer (Pyrite ou Marcassite). Il est probable qu'elle est surtout constituée par du Carbonate de fer (Siderose).

(2) Ce corps résineux est interstratifié dans un échantillon de houille provenant de la veine Dusouich de la Société houillère de Liévin. Celui représenté par la figure 110 existe dans une houille du Limbourg hollandais.

prennent l'allure de *corps étoilés* qui rappellent à première vue les tissus ligneux désarticulés (structure en étoile = bogenstruktur) (Pl. XXI, Fig. 111). La fossilisation du corps résineux tend alors vers la formation d'une masse homogène.

Cette fossilisation des contenus cellulaires avec augmentation de volume peut encore s'être réalisée alors que les masses protoplasmiques ont conservé leur individualité. Dans ce cas ces dernières présentent des contours polyédriques analogues à ceux des cellules vivantes, elles sont étroitement serrées les unes contre les autres et offrent fréquemment une structure encapuchonnée dont j'ai parlé précédemment. Les figures 114 et 115 (Pl. XXII) permettent d'observer deux corps résineux de ce type.

Entre ces deux modes extrêmes de fossilisation on rencontre tous les termes intermédiaires dont les figures 105, 106 (Pl. XX), 112, 113 (Pl. XXII), représentent des exemples particuliers.

Les deux microphotographies figurant dans le texte d'une monographie publiée antérieurement représentent des sections (Fig. 5 [194]) ou des tronçons (Fig. 6 [194]) de canaux résineux.

### C

#### Corps résineux constitués par des amas de résine.

Lorsque dans une poche sécrétrice il y a eu, au cours de la fossilisation, disparition des membranes cellulosesiques et augmentation de volume des contenus cellulaires il y a tendance à la formation de masses amorphes ou *amas résineux*.

De tels amas de résine sont fréquents dans certaines houilles où ils présentent parfois quelques vestiges de la structure cellulaire initiale sous forme de lambeaux de membrane (Pl. XIX, Fig. 98, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>; 100, R<sub>2</sub>; 101, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>; Pl. XXIV, 122a, R; 123, R, R<sub>1</sub>; Pl. XXV, 126a, R, 126b; Pl. XXVI, 131 à 133).

Assez souvent les membranes ont presque complètement disparu et la poche sécrétrice apparaît sous forme d'une masse granuleuse (Pl. XXV, Fig. 128 à 130) à contours plus ou moins réguliers.

Lorsque ces membranes ont complètement disparu la poche sécrétrice prend l'aspect d'une masse amorphe homogène qui peut encore être distinguée de la pâte de la houille (Pl. XXV, Fig. 127, R).

### D

#### Corps résineux constitués par des contenus cellulaires isolés

A côté des poches sécrétrices, décrites précédemment et formées de nombreuses cellules, on rencontre dans la houille, interstratifiés au milieu des autres corps figurés (spores, cuticules, tissus lignifiés), des corps résineux unicellulaires dont les origines peuvent être différentes.

Certains de ces corps résineux unicellulaires proviennent du morcellement de poches sécrétrices dont les membranes cellulaires ont été primitivement détruites. On les rencontre

en effet fréquemment sur le pourtour de telles poches sécrétrices dont ils représentent des parties complètement désagrégées (Pl. XX, Fig. 105, Cc) ou à certaines distances de ces mêmes poches sécrétrices, isolés ou en groupes (Pl. XX, Fig. 104, Cc, Cc<sub>1</sub>, Fig. 107, Cc, Cc<sub>1</sub>) au milieu des autres corps figurés. Dans ce cas ces corps résineux unicellulaires sont le résultat de la désagrégation par action combinée d'agents chimiques (destruction des membranes) et mécaniques de poches sécrétrices pluricellulaires.

La figure 98 (Pl. XIX) permet d'observer en R<sub>6</sub> la dislocation d'un corps résineux analogue à R<sub>2</sub>, dislocation qui se produit au milieu d'une masse de pâte ou substance fondamentale amorphe.

Comme je l'ai dit plus haut il existe dans certaines plantes des cellules sécrétrices isolées disséminées dans d'autres tissus. Les végétaux houillers contenaient de telles cellules sécrétrices et les figures 116 et 117 (Pl. XXIII) permettent de les observer, soit isolées au milieu d'une masse ligneuse (Fig. 116), soit réparties dans un rayon médullaire (Fig. 117). Dans ce dernier cas les tissus qui formaient ce rayon médullaire sont presque complètement détruits et la dislocation de la masse ligneuse suivant cette direction aurait mis en liberté les corps résineux R qui auraient alors acquis une individualité égale à celle des autres débris végétaux (spores, cuticules, poches sécrétrices, fragments de tissus ligneux).

Une fois isolés dans la houille, comme c'est le cas pour les corps résineux représentés par les figures 118, 119, 120, 121 (Pl. XXIII) ; 134, 136, 137 et 138 (Pl. XXVI) il est souvent très difficile de se rendre compte si le caractère unicellulaire est *primordial* ou *acquis secondairement*.

Le seul criterium que l'on puisse utiliser est que *dans le cas le plus général* les corps résineux primitivement unicellulaires ont des formes sphériques ou ellipsoïdales (Pl. XXIII, Fig. 116 à 121, Pl. XXVI, Fig. 134, 136, 137), tandis que les contenus cellulaires isolés provenant de la désagrégation de poches sécrétrices pluricellulaires présentent des *contours plus irréguliers* par suite des déformations mutuelles qu'ils ont subi et qui rappellent les formes des masses protoplasmiques dépourvues de leurs membranes, mais restées néanmoins groupées. Les figures 104 et 107 de la planche XX représentent respectivement des corps résineux unicellulaires identiques aux masses protoplasmiques des poches sécrétrices des figures 102, 103, d'une part, et 105, 106, d'autre part. Les corps résineux des figures 135 et 138 (Pl. XXVI) présentent ce même caractère et proviendraient également de la désagrégation de poches sécrétrices pluricellulaires.

Les figures 124 et 125 (Pl. XXIV) représentent des corps résineux unicellulaires disséminés dans un lit riche en pâte amorphe et où ils existent seuls en tant que débris organisés.

En résumé, les corps résineux de la houille présentent des aspects variés en rapport avec leur structure primitive et les conditions de leur fossilisation, aspects dont les principaux sont les suivants :

a) Masses pluricellulaires, correspondant aux canaux sécréteurs ou aux poches sécrétrices des plantes houillères ayant été complètement fossilisés, les contenus protoplasmiques et les membranes cellulaires étant conservés.

b) Masses pluricellulaires analogues aux précédentes, mais ayant subi une destruction partielle par suite de la disparition des membranes cellulaires, les contenus protoplasmiques

ques des cellules étant seuls fossilisés et ayant gardé leur individualité. Suivant que cette fossilisation s'est réalisée avec diminution ou augmentation de volume des contenus cellulaires il y a eu formation de corps résineux d'aspects très différents.

*a* — Lorsqu'il y a eu *diminution de volume* les contenus protoplasmiques ont des contours arrondis et sont séparés les uns des autres par des espaces importants comblés par une substance de remplissage.

*β* — Lorsqu'il y a eu *augmentation de volume* les contenus cellulaires serrés les uns contre les autres présentent des sections polygonales qui font que le corps résineux offre à première vue l'aspect d'un tissu dont les membranes auraient été conservées.

*c*) Masses pluricellulaires identiques aux précédentes (*a* et *b*) mais transformées en *masses amorphes* ou amas de résine par suite de la disparition des membranes cellulaires et de la fusion des masses protoplasmiques fossilisées en une substance homogène.

*d*) Corps résineux unicellulaires provenant soit de *cellules sécrétrices isolées* soit de la dislocation de *corps résineux pluricellulaires*.

## II

### Gisements des Corps résineux de la houille.

Les corps résineux se rencontrent indistinctement dans les trois grandes variétés de houilles (*houilles à hautes teneurs en matières volatiles* = h. flambantes, h. grasses à gaz, h. grasses marécales ; *houilles à teneurs moyennes en matières volatiles* = h. grasses à coke ; *houilles à faibles teneurs en matières volatiles* = h. maigres, h. anthraciteuses, anthracites). Néanmoins, ils sont beaucoup plus fréquents dans les houilles à hautes teneurs en matières volatiles (charbons de spores et charbons de cuticules) où ils n'ont joué du reste qu'un rôle peu important eu égard à celui des substances cutinisées. Dans les deux autres variétés de houilles les corps résineux peuvent être considérés comme rares.

L'étude des différents gisements des corps résineux présente un intérêt capital en raison de l'usage qu'on en a fait pour étayer certaines théories concernant l'origine et le mode de formation de la houille brillante (Vitrain).

Se basant sur la très grande résistance des résines aux agents chimiques et bio-chimiques MM. FRANCIS et WHEELER [250] ont émis l'hypothèse que la présence de corps résineux dans la masse de lits de houille brillante (vitrain) démontrait que ces lits provenaient de la transformation en place de fragments de tissus ligneux dont la structure aurait complètement disparu.

Plus récemment M. STACH [582 et 584] a publié des observations analogues et des figures où il estime avoir mis en évidence la structure cellulaire de la houille brillante (Vitrain) <sup>(1)</sup>.

L'étude des corps résineux a donc amené ces trois auteurs à confirmer la théorie de M. THIESSEN [639] sur l'origine ligneuse de la houille brillante (Vitrain = Anthraxylon); théorie

(1) E. STACH, [584] figures 19 et 20, p. 92 et 93.

que pour ma part je n'ai pas cru devoir accepter, tout au moins dans la forme trop générale que lui a donné le savant américain.

Sans entrer ici dans une discussion générale que j'aborderai dans le chapitre concernant la pâte de la houille et la formation des lits de houille brillante, j'insisterai pour le moment sur les caractères du gisement des corps résineux des houilles, dont l'analyse démontre que les observations de MM. FRANCIS, WHEELER et STACH ne s'appliquent qu'à des cas particuliers et ne doivent pas être généralisées comme l'ont fait ces auteurs.

Tout d'abord l'étude microscopique des charbons par la méthode de simple polissage vient infirmer l'opinion de MM. FRANCIS et WHEELER que les corps résineux des lits de houille brillante (Vitrain) invisibles après simple polissage n'apparaissent qu'après attaque des surfaces polies de houille. Les figures 124 et 125 (Pl. XXIV) montrent en effet que les corps résineux peuvent dans de tels lits être mis en évidence d'une façon beaucoup plus nette <sup>(1)</sup> par simple polissage que par la combinaison du polissage et de l'attaque <sup>(2)</sup>.

D'autre part, MM. FRANCIS, WHEELER et STACH n'ont guère examiné que les corps résineux des lits de houille brillante et ont négligé à peu près complètement l'étude des corps résineux mélangés aux spores, aux cuticules et aux fragments de tissus ligneux dans les lits de houille semi-brillante (Clarain = Anthraxylon) et mate (Durain = Attritus).

Or, comme nous le verrons dans le développement qui va suivre, seule l'étude comparative des corps résineux dans leurs différents gisements permet de se rendre compte de leur signification exacte dans les lits de houille brillante (Vitrain = Anthraxylon) et de substituer des faits d'observation précis à de simples hypothèses.

Les corps résineux (Harzkörperchen) décrits et figurés par MM. FRANCIS, WHEELER et STACH sont identiques à ceux que l'on peut observer en R sur les figures 124 et 125 de la planche XXIV, comme ces derniers ils sont distribués assez irrégulièrement dans la masse de lits de houille brillante (Vitrain = Anthraxylon). Ils appartiennent donc à la catégorie de corps résineux que j'ai décrits précédemment comme représentant des contenus cellulaires isolés. Ils sont identiques comme forme et comme aspect à ceux qui figurent sur les microphotographies 104 (Pl. XX) 110 (Pl. XXI).

Dans la figure 110 les contenus cellulaires fossilisés sont encore groupés côtes à côtes comme ils l'étaient dans le corps résineux entier avant la destruction de la membrane, tandis que dans la figure 104 ils se trouvent réunis par petits groupes au milieu des microspores et des fragments de macrospores. Ce mode de gisement indique bien qu'ils avaient au moment de leur dépôt dans les eaux de la lagune houillère la même individualité que les spores elles-mêmes. Dans ces conditions, il faut donc admettre qu'antérieurement à leur transport ces corps résineux unicellulaires se trouvaient déjà isolés, soit par la dislocation des poches ou canaux sécréteurs, soit par la destruction totale ou partielle des tissus ligneux qui les enrobaient.

De même les corps résineux unicellulaires représentés par les figures 118 et 119 (Pl. XXIII) se trouvent isolés au milieu de fragments de tissus ligneux. Un simple examen de la figure 119 permet de se rendre compte qu'il est impossible d'admettre que tout le champ de la photo-

(1) Comparer ces deux figures à celles publiées par FRANCIS et WHEELER, [250] Fig. 4, planche hors texte placée en face de la page 1411.

(2) La même constatation peut être faite en comparant la figure 4 de MM. FRANCIS et WHEELER à celle qui a été publiée par M. STACH [584], Fig. 20, p. 93.

graphie représente une masse ligneuse unique, les lames ligneuses  $T_1$ ,  $T_1$ ,  $T_2$ , le corps résineux arrondi et la pâte qui les enrobe ont manifestement des origines différentes. Ici encore l'individualisation des corps figurés dans les eaux de la lagune houillère est évidente.

D'autre part, si les amas de résine tels que  $R_1$  de la figure 98 (Pl. XIX) peuvent se rencontrer dans la masse des tissus R qui les enrobait ils se trouvent encore plus fréquemment isolés au milieu des spores, caractère qui prouve que les tissus adjacents ont subi la destruction totale ou que tout au moins ils en ont été séparés complètement avant leur mise en place. Les figures 98 ( $R_2$ ,  $R_3$ ), 100 et 101 ( $R_2$ ,  $R_3$ ) [Pl. XIX], 120 et 121, ( $R$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ) [Pl. XXIII], 122a, 122b, 123 [Pl. XXIV] 131 ( $R$ ,  $R_1$ ), 136, 137, 138 ( $R$ ) [Pl. XXVI]; 148 ( $R$ ) [Pl. XXIX] montrent des exemples typiques où il est évident que les amas de résine étaient complètement isolés et présentaient une individualité égale à celle des spores.

*En résumé, ces différentes observations montrent que lorsqu'ils sont associés à d'autres corps figurés (spores, cuticules, corps résineux pluricellulaires, tissus ligneux) les corps résineux unicellulaires ont une individualité propre identique à celle des autres débris organisés.*

Il semble difficile de ne pas reconnaître ce même caractère (individualisation antérieurement au dépôt) à ces mêmes corps résineux unicellulaires lorsqu'ils sont stratifiés dans certains lits de houille brillante (Vitrain) tels que les lits Hb des figures 124 et 125 (Pl. XXIV).

En effet, dans le cas de la figure 124 le lit de houille brillante Hb contient un lit de micropores  $ms_1$  qui n'aurait pu se déposer si ce lit provenait de la gélification en place d'une masse ligneuse. Comme je l'ai déjà montré [180] il s'agit ici d'un lit de pâte (substance fondamentale pure) ayant la même origine que les couches de *Dopplérite* de la tourbe, c'est-à-dire provenant de la précipitation de substances en solution dans l'eau de la lagune.

Dans le cas de la figure 125 on observe en  $R_1$ , au milieu des spores et des cuticules, un corps résineux unicellulaire identique aux contenus cellulaires fossilisés stratifiés dans le lit de houille brillante Hb.

Or il existe des lits de houille brillante analogues à ceux des figures 124 et 125 où l'on ne rencontre plus de corps figurés (Pl. V, Fig. 18; Pl. XXIV, Fig. 123, Pl. XXVIII, Fig. 147 etc...) et, d'autre part, des lits analogues contenant des lits de spores intercalés (Pl. V, Fig. 19, Hb et  $Hm_1$ ) et même une seule macrospore isolée dans leur masse (Pl. V, Fig. 21, Hb; Fig. 23,  $Ms_1$ ).

Ces dernières observations (présence de macrospores isolées dans la houille brillante) étayent solidement la théorie que j'ai émise antérieurement [180 à 213 ter] concernant la formation des lits de houille brillante, que M<sup>me</sup> M. C. STOPES a désignée par le terme *Vitrain*, par précipitation de substance dissoute, processus identique à celui qui a présidé à l'individualisation de la pâte des houilles semi-brillantes (Clairain) et mates (Durain).

Ces différentes considérations suffisent pour montrer que les lits de houille brillante Hb des figures 124 et 125 (Pl. XXIV) n'ont pas une origine ligneuse, mais proviennent de la prise de la pâte de la houille à un moment où seuls quelques corps résineux unicellulaires étaient en suspension dans l'eau de la lagune houillère <sup>(1)</sup>.

(1) Selon moi la figure de M. STACH citée précédemment ([584], fig. 20, p. 93) conduit aux mêmes conclusions que les figures 124 et 125 de la planche XXIV. Je discuterai plus loin dans le chapitre concernant la pâte de la houille l'argument de la structure cellulaire qui, à mon avis, doit être écarté.

Par contre, dans un petit nombre de cas il m'a été possible d'observer des corps résineux encore englobés dans des masses ligneuses transformées en houille brillante. (Pl. XXIII, Fig. 116 et 117 ; Pl. XXVI, Fig. 132).

Des études précédentes concernant les corps résineux de la houille il résulte donc que la seule présence de corps résineux dans des lits de houille brillante (Vitrain) ne peut être invoquée comme preuve de l'origine de ces lits à partir de masses ligneuses gélifiées *in situ*.

Ces études viennent confirmer mes recherches antérieures concernant le rôle des tissus lignifiés dans la formation de la houille brillante [183], rôle beaucoup moins important que celui attribué par M. THIESSEN [639].

Les observations de MM. FRANCIS, WHEELER [250] et STACH [584] ne sont exactes qu'à la condition d'être limitées à certains cas particuliers et dépouillées du caractère général que leur ont donné ces auteurs. *Elles ne s'appliquent qu'à la variété de houille brillante d'origine ligneuse que j'ai décrite sous le nom de Xylovitrain [183].*

Les corps résineux de la houille, qu'ils soient pluri ou unicellulaires, présentent donc dans la grande majorité des cas une individualisation égale à celle des autres corps figurés (spores, cuticules, tissus ligneux), caractère qui est mis en évidence par leur présence dans des lits riches en spores ou en cuticules. Dans ce cas, par suite de leur résistance à l'aplatissement et de leurs sections globuleuses, ils provoquent des dérangements dans la stratification des autres débris organisés (Fig. 126 à 130, Pl. XXV) en tous points comparables à ceux qui résultent de la présence de masses ligneuses.

### III

#### Caractères spécifiques des substances résineuses.

Antérieurement aux présentes recherches on désignait sous le nom de « *corps résineux* » les variétés de corps jaunes qu'il était impossible de ranger parmi les spores ou parmi les algues. En lames ou en sections minces les seuls caractères de ces corps résineux étaient leur transparence, leur coloration jaune ou orangée et leurs formes globulaires en sections verticales.

Il m'a été possible grâce au procédé de préparation de surfaces planes, par *simple polissage*, d'analyser beaucoup plus finement la structure des corps résineux de la houille et de mettre en évidence un certain nombre de caractères microscopiques qui peuvent être considérés comme spécifiques des substances résineuses.

Ces caractères sont les suivants :

1° — Les substances résineuses, plus résistantes aux agents chimiques ou biochimiques sont plus dures que la pâte de la houille, s'usent moins vite que cette dernière au cours des opérations de polissage et présentent donc un fort relief dans les surfaces polies. Ce relief est particulièrement net dans les figures 105, 106 (Pl. XX), 108, 109 (Pl. XXI) ; c'est grâce à lui que les corps résineux formés par des contenus cellulaires isolés sont encore bien visibles dans la masse de la pâte de la houille qui les enrobe (Fig. 104, 105 (Cc), 107 (Pl. XX) ; 118, 119 (Pl. XXIII) ; 124, 125 (R), (Pl. XXIV) ; 131, 134 à 138 (Pl. XXVI). Ce fort relief est encore très



net quand les corps résineux se trouvent isolés au milieu d'autres corps figurés. [Fig. 25, R, (Pl. VI) ; 98, 100, 101 (Pl. XIX) ; 116, 117, 120, 121, (Pl. XXIII) ; 122, 123 (Pl. XXIV) ; 138 (Pl. XXVI)].

2° — En lumière réfléchie les corps résineux présentent soit des teintes plus claires [Fig. 127 (Pl. XXV), 131, 135, 138 (Pl. XXVI)], soit des teintes très voisines [Fig. 108 (Pl. XXI) ; 118, 119 (Pl. XXIII) ; 134, 136, 137 (Pl. XXVI)] ou à peine plus foncées [Fig. 122a (Pl. XXIV) ; 133 (Pl. XXVI)] que la pâte (substance fondamentale) de la houille. Malgré la grande similitude de teinte [Fig. 134, 137 (Pl. XXVI)] de certains corps résineux et de la pâte de la houille, ces corps figurés restent encore bien visibles en raison de leur relief.

Les teintes des corps résineux sont grises et toujours moins foncées que celles des spores et des cuticules.

3° — Les tissus sécréteurs ont parfois été fossilisés en entier, mais le plus souvent ils ont été partiellement détruits. Dans ce dernier cas ce sont les membranes cellulaires cellulosiques qui disparaissent les premières, les contenus protoplasmiques riches en essences et en résines étant plus résistants.

4° — Comme les corps figurés précédents (spores, cuticules), les corps résineux sont toujours stratifiés, en ce sens que leur grand axe est toujours sensiblement parallèle au plan de stratification de la couche de houille, mais contrairement aux spores et aux cuticules ils *ont résisté à l'aplatissement et se présentent en sections verticales sous forme de masses globuleuses uni- ou pluricellulaires.*

Malgré ces caractères distinctifs qui les différencient nettement, les corps résineux ont été parfois confondus avec les macrospores et déterminés comme telles.

Des petits amas de résine ou de plusieurs corps résineux unicellulaires identiques à ceux représentés sur diverses figures publiées dans ce travail [Fig. 25, R (Pl. VI) ; 98, R<sub>3</sub> (Pl. XIX), 120, 121 (Pl. XXIII) ; 131, 132, 135, 138 (Pl. XXVI)], montrent à première vue de grandes analogies d'aspects avec les macrospores isolées de la houille par macération<sup>(1)</sup>. Aussi de tels corps résineux ont ils été décrits comme spores en *section verticale* par MM. TURNER et RANDALL ([657], Fig. 1, p. 310).

Les macrospores ne présentent jamais de tels aspects en *sections verticales* et seuls leurs contours en *sections horizontales* peuvent en être rapprochés.

Ces anomalies n'ont pas échappé à M. D. WHITE qui, en reproduisant dans le « Treatise of sédimentation » de M. TWENHOFFEL ([658] Fig. 21) la figure de MM. TURNER et RANDALL, l'a interprétée comme étant une *section horizontale* en conservant aux corps figurés la détermination de spores. Ces corps figurés considérés comme macrospores sont en réalité des corps résineux en section verticale.

(1) Comparer en particulier les figures citées avec les figures 5 et 6 de l'ouvrage de M. STACH ([584] p. 20) représentant des spores isolées par macération de la houille.

## IV

## Origines des Corps résineux des houilles.

L'étude morphologique des corps résineux des houilles conduit à distinguer parmi eux trois types différents suivant la configuration qu'ils présentent.

1<sup>o</sup> — Les *poches sécrétrices* à sections globuleuses formées par de nombreuses cellules.

2<sup>o</sup> — Les *canaux sécréteurs* où les cellules sont groupées en forme de tube.

3<sup>o</sup> — Les *cellules sécrétrices isolées* <sup>(1)</sup>.

Étant donné l'isolement des corps résineux et l'impossibilité presque constante d'observer la nature des tissus adjacents, il est quasi impossible de pousser plus loin leur détermination.

Ici comme pour les spores on se trouve contraint de faire intervenir l'hypothèse dès que l'on veut préciser l'origine des corps résineux.

Les résines sont surtout abondantes dans les végétaux arborescents du groupe des conifères (pin, sapin etc...) que l'on désigne sous le nom d'arbres résineux. Il est donc logique d'admettre que les corps résineux de la houille dérivent, au moins en partie, des *Cordaïtes* qui étaient les représentants de ce groupe à l'époque houillère.

Enfin, certains corps résineux pourraient également être considérés comme provenant de l'isolement de certaines glandes corticales des *Sigillaires* <sup>(2)</sup>.

En résumé, si la détermination en tant qu'appareil sécréteur des corps figurés de la houille décrits sous le nom de corps résineux est relativement facile il est quasi impossible de préciser leur origine en restant dans le domaine de l'observation pure.

## Conclusions du Chapitre sixième.

En résumé, l'étude morphologique des corps résineux de la houille permet de tirer les conclusions suivantes :

1<sup>o</sup> — Les corps résineux et les tissus à contenus cellulaires fossilisés présentent en surfaces polies des *caractères spécifiques*, qui permettent de les déterminer facilement, qu'ils soient à l'état de tissus complètement ou partiellement conservés, d'amas de résine ou masses protoplasmiques provenant d'appareils sécréteurs unicellulaires ou de la désagrégation de poches ou de canaux sécréteurs pluricellulaires.

2<sup>o</sup> — L'un de ces caractères spécifiques est la *résistance à l'aplatissement* des corps résineux ou des contenus cellulaires fossilisés qui présentent en sections verticales des aspects globuleux. Cette absence d'aplatissement contraste avec l'affaissement constant des exines

(1) Comme il a été dit plus haut les corps résineux unicellulaires de la houille peuvent avoir différentes origines.

1<sup>o</sup> Ils peuvent résulter du morcellement de poches ou de canaux sécréteurs.

2<sup>o</sup> Ils peuvent dériver de cellules sécrétrices isolées dans le végétal même.

(2) Voir P. BERTRAND [87]. Dessin représentant la *Sigillaria reniformis*. BRONGN. p. 34.

de spores et des cuticules et le tassement de certaines masses ligneuses. Cette résistance à l'écrasement de tissus mous s'explique par les fortes tensions superficielles des masses de résine ou des protoplasmes riches en gouttelettes d'essence ou de résine.

3° — Les corps résineux *sont surtout fréquents dans les charbons de cutine* riches en spores et en cuticules et relativement pauvres en débris de tissus ligneux. On les rencontre aussi, mais bien plus rarement dans les houilles ligno-cellulosiques où les débris de bois et de sclérenchyme sont abondants.

4° — Même dans les houilles qui les contiennent en quantités relativement grandes (charbons de cutine) *les corps résineux ne jouent que des rôles très peu importants* eu égard à ceux des spores ou des cuticules qui forment la quasi totalité des débris organisés de ces combustibles.

5° — La *grande résistance* des résines houillères aux agents de destruction, bien mise en évidence par le fait que leur présence dans certaines cellules a entraîné la fossilisation du protoplasme, s'explique facilement par les caractères chimiques des essences et des résines, corps de la série terpénique <sup>(1)</sup> utilisés dans la pratique des embaumements.

6° — L'isolement des corps résineux, presque toujours dégagés des tissus adjacents moins résistants et présentant dans les houilles une individualité égale à celle des spores, des cuticules ou des fragments de bois, est un fait d'observation courant qui en venant s'ajouter aux faits de leur association constante avec les exines de spores et les cuticules et de leur rareté relative dans les houilles riches en fragments de bois *est un argument de plus en faveur de la théorie du transport des débris végétaux des houilles*. Ce transport bien que n'ayant certainement pas l'importance que lui attribuait FAYOL présentait néanmoins une certaine ampleur capable de répartir en des points différents de la lagune houillère les divers types de débris organisés.

Toutes ces conclusions sont entièrement conformes à celles que l'on peut tirer de l'étude des spores et des cuticules qui a fait l'objet du chapitre cinquième et de l'examen des caractères morphologiques des tissus ligneux des houilles qui fera l'objet du chapitre suivant.

(1) Pour plus de détails voir [194].

## CHAPITRE SEPTIÈME

# Les substances ligneuses

### PLANCHES XXVII A XXXIX

#### SOMMAIRE

INTRODUCTION. — Les différents types de tissus lignifiés

- I. — MORPHOLOGIE DES TISSUS LIGNIFIÉS. — Les différents types de tissus lignifiés fossiles des houilles paléozoïques.  
A. *Tissus ligneux fossiles ayant conservé leur aspect primitif.* a) Aspect en sections transversales. b) Aspect en sections longitudinales, radiaires ou tangentiels. c) Aspects en sections obliques. — B. *Tissus ligneux déformés par des actions mécaniques.* Structure en étoile ou bogenstruktur. — C. *Tissus ligneux gélifiés.* Xylain et Xylovitrain. — D. *Fragment de tissu ligneux.*
  - II. — GISEMENT DES TISSUS LIGNEUX. — Leur rareté dans les houilles de cutine. — Leur présence en menus débris dans les houilles ligno-cellulosiques.
  - III. — CARACTÈRES SPÉCIFIQUES DES TISSUS LIGNEUX.
  - IV. — ORIGINE DES TISSUS LIGNEUX DES HOUILLES.
- CONCLUSIONS DU CHAPITRE SEPTIÈME.

Si, comme le révèle nettement l'étude des spores et des cuticules des houilles paléozoïques et de leur mode de gisement, les tissus ligneux ne représentent que des constituants accessoires de toute une classe de charbons (charbons de Cutine), où leur rôle a été jusqu'ici exagéré, ces mêmes tissus ligneux presque toujours réduits à l'état de menus fragments forment, néanmoins, à eux seuls la quasi totalité des débris organisés d'une importante variété de combustibles, les *charbons ligno-cellulosiques*. Dans ces charbons ils jouent des rôles à peu près équivalents à ceux des spores et des cuticules dans les houilles de cutine et se substituent alors complètement à ces substances cutinisées qui font, en règle générale, complètement défaut.

Avant d'aborder ici l'étude des substances ligneuses des houilles je rappellerai brièvement les caractères généraux des différentes variétés de tissus ligneux des végétaux, variétés dont nous retrouverons des vestiges dans les charbons paléozoïques du Nord de la France.

#### **Les différents types de tissus lignifiés des plantes anciennes et actuelles.**

Les tissus lignifiés des végétaux que l'on désigne vulgairement sous le nom spécifique de « bois » jouent dans les différentes plantes des rôles divers de protection, de soutien ou de conduction. Ils proviennent toujours de tissus *primitivement celluloses*, c'est-à-dire constitués exclusivement par de la cellulose et de la pectose, tissus dont les parois s'épaississent et s'im-

prègnent d'une substance dure la « *lignine* » Les tissus lignifiés des végétaux se rangent naturellement dans deux catégories distinctes suivant les rôles qu'ils jouent dans l'économie du végétal.

#### 1<sup>o</sup> TISSUS LIGNIFIÉS DE PROTECTION ET DE SOUTIEN (SCLÉRENCHYME)

Les tissus lignifiés que les botanistes désignent par le terme de « *Sclérenchyme* » jouent uniquement dans les végétaux des rôles de *protection* ou de *soutien*. Suivant la forme des cellules à parois lignifiées on distingue deux variétés de sclérenchyme.

1<sup>o</sup> Le *Sclérenchyme proprement dit* constitué par des cellules courtes, polyédriques, à parois épaissies et fortement lignifiées ou *cellules sclérenchymateuses*. Ce tissu ne joue exclusivement qu'un rôle de *protection*, c'est lui qui forme l'enveloppe très dure de la coquille de la noix, du noyau de la pêche, de l'abricot, de la cerise, etc...

2<sup>o</sup> Les *Fibres sclérifiées* (tissu fibreux) sont constituées, au contraire, par des cellules allongées, effilées à leurs deux extrémités en forme de fuseaux, à parois épaissies imprégnées de lignine qui jouent uniquement un rôle de *soutien* en assurant une grande rigidité à certains organes des végétaux. Ces fibres sclérifiées sont souvent fortement lignifiées dures et peu flexibles, elles peuvent garder une certaine souplesse lorsque la lignification est faible, mais néanmoins suffisante pour leur assurer une grande ténacité. Les fibres textiles du lin et du chanvre appartiendraient d'après MM. BELTZER et PERSOZ à ce dernier type de fibres sclérifiées (1).

La lignification de la membrane des cellules sclérifiées n'est pas uniforme, elle ne se produit pas suivant un certain nombre de très petits espaces circulaires ou ellipsoïdaux, de sorte qu'il se forme autant de fins canalicules obstrués seulement par de minces membranes celluloseuses. Ces canalicules ou ponctuations de la membrane permettent des échanges osmotiques entre les cellules voisines.

Le sclérenchyme proprement dit (cellules sclérenchymateuses) forme surtout les enveloppes protectrices de certaines graines et est assez rare dans la houille où je n'en n'ai jamais observé jusqu'ici. Au contraire, les fibres sclérifiées étaient très développées dans la zone corticale de certaines plantes houillères et beaucoup de tissus lignifiés des houilles doivent leur être attribués.

#### 2<sup>o</sup> TISSUS LIGNIFIÉS DE SOUTIEN ET DE CONDUCTION (VAISSEAUX LIGNIFIÉS)

La conduction de la sève brute (sève ascendante) est assurée chez les végétaux vasculaires par des files de cellules allongées, placées bout à bout. L'ensemble de ces cellules en forme de tube constitue le « *tissu vasculaire* » d'où le nom de « *vasculose* » utilisé parfois pour désigner la lignine. C'est ce tissu vasculaire lignifié que les botanistes désignent par les termes de « *bois* » ou de « *xylème* ».

Pour remplir ce rôle physiologique les cellules des tissus vasculaires doivent avoir des parois suffisamment rigides pour que leurs cavités soient maintenues béantes. Cette rigidité est réalisée grâce à la lignification de la membrane.

(1) D'après ces auteurs les fibres textiles du *jute* sont fortement lignifiées, tandis que celles du *lin* et du *chanvre* le sont à peine. Voir : F. J. G. BELTZER et J. PERSOZ. — Les matières celluloseuses. Textiles naturels et artificiels, Pâtes à papier et papiers, p. 217 et 287, Libr. Bérenger, Paris, 1911.

Dans le cas des vaisseaux ligneux comme dans celui du sclérenchyme la lignification ne se produit pas régulièrement dans toute l'étendue de la membrane, mais n'est réalisée seulement que dans certaines régions qui laissent subsister entre elles des espaces où la membrane cellulosique permet des échanges osmotiques entre les différents vaisseaux et les cellules voisines. Cette lignification irrégulière des parois des vaisseaux ligneux peut se réaliser de différentes façons qui donnent naissance à des ornements variés que l'on a utilisés pour définir et classer les divers types de vaisseaux <sup>(1)</sup>.

Étant donnée leur grande rigidité les tissus vasculaires lignifiés jouent généralement un rôle de soutien important et assurent, concurremment ou indépendamment des fibres sclérifiées, la rigidité des tiges et des rameaux de la plante.

La détermination des tissus ligneux des végétaux exige généralement la confection et l'examen de trois coupes convenablement orientées (c. transversale, c. longitudinale et c. tangentielle) qu'il est presque toujours impossible de réaliser en ce qui concerne les tissus fossilisés des houilles. Une telle étude systématique nécessite un matériel assez volumineux que l'on rencontre bien dans le cas des végétaux pétrifiés, mais qui fait défaut dans la houille où, comme nous le verrons plus loin, les masses ligneuses importantes sont extrêmement rares sinon inexistantes, les tissus lignifiés ne se présentant guère que sous forme de menus fragments.

Cette détermination, quasi impossible dans la houille, présenterait un grand intérêt au point de vue paléobotanique, mais en offre beaucoup moins au point de vue lithologique où la distinction du bois proprement dit (vaisseaux lignifiés) et du sclérenchyme n'a qu'une importance secondaire. En effet, à ce dernier point de vue il importe surtout de fixer la nature chimique des substances végétales qui ont constitué le dépôt initial ; or les vaisseaux lignifiés comme le sclérenchyme sont constitués par des proportions variables de lignine, de cellulose et de pectose, dans le sclérenchyme comme dans le tissu vasculaire la lignine n'existant jamais seule, les régions des membranes restées minces et les membranes moyennes qui limitent deux cellules adjacentes étant formées de cellulose et de pectose.

Dans la houille la détermination du bois au sens strict ne peut guère être faite qu'en section transversale lorsque les cellules présentent un alignement caractéristique.

C'est pour ces raisons que j'emploierai les termes « *tissus ligneux* », « *tissus lignifiés* », « *bois* » dans leur sens le plus large c'est-à-dire pour désigner l'ensemble « sclérenchyme, tissu ligneux vasculaire » dont la distinction ne présenterait dans la plupart des cas qu'un intérêt théorique. Néanmoins, lorsqu'une telle distinction sera possible je l'indiquerai expressément de façon à éviter toute équivoque.

## I

### Morphologie des tissus lignifiés

Si comme nous l'avons vu précédemment il est presque toujours impossible de distinguer parmi les tissus lignifiés de la houille ceux qui proviennent du sclérenchyme de ceux qui ont

(1) Suivant la disposition des zones lignifiées on distingue les vaisseaux ponctués, annelés, spiralés, réticulés, rayés, scalariformes et aérolés.

appartenu au tissu vasculaire des plantes houillères il y a lieu, par contre, de faire intervenir dans leur classification un autre facteur qui est leur « *état de fossilisation* ». Suivant les circonstances les tissus ligneux des plantes houillères ont subi des sorts différents qui ont déterminé soit leur conservation, soit leur transformation plus ou moins profonde et qui permettent de les classer dans les quatre catégories suivantes :

- A. — Tissus lignifiés ayant conservé leur aspect primitif.
- B. — Tissus lignifiés transformés par des actions mécaniques.
- C. — Tissus lignifiés gélifiés.
- D. — Fragments de tissus lignifiés.

## A

### Tissus ligneux ayant conservé leur aspect primitif.

L'examen microscopique des houilles en lumière réfléchie permet d'observer assez fréquemment dans ces combustibles des débris de tissus ligneux dont la structure merveilleusement conservée est quasi identique à celle des tissus analogues des plantes actuelles. Suivant les hasards du débitage les surfaces simplement polies déterminent dans les masses ligneuses des coupes diversement orientées appartenant à l'un des trois types suivants :

- a) *des sections transversales* perpendiculaires à l'allongement des cellules ligneuses.
- b) *des sections longitudinales* parallèles à l'allongement des cellules ligneuses et pouvant correspondre soit à des coupes radiales, soit à des couches tangentielles par rapport aux formes géométriques de l'organe du végétal dont les débris lignifiés représentent des fragments.
- c) *des sections obliques* occupant dans la masse du tissu une position quelconque.

Ce sont ces trois termes de sections transversales, longitudinales et obliques que j'utiliserai surtout dans l'étude morphologique des tissus ligneux où je ferai presque complètement abstraction des notions de *sections horizontales* ou *verticales* (parallèles ou perpendiculaires au plan de stratification) qui peuvent correspondre indifféremment à l'un ou l'autre type de coupes orientées dans la masse des tissus en question, notions que je ne ferai intervenir à nouveau que dans le développement relatif au mode de gisement des débris de bois et de sclérenchyme où elles reprennent la même importance qu'en ce qui concerne le mode d'accumulation des spores, des cuticules et des corps résineux. Dans les pages qui vont suivre je décrirai successivement les tissus ligneux des houilles en sections transversales, longitudinales et obliques.

#### a. — SECTIONS TRANSVERSALES

En sections transversales les cellules des tissus vasculaires ligneux et les fibres sclérifiées ont des aspects quasi identiques à ceux des cellules sclérenchymateuses. Leurs contours sont des polygones s'inscrivant approximativement dans un cercle et marqués par les membranes moyennes elles-mêmes fossilisées. Les cavités cellulaires ont alors des sections circulaires ovalaires ou polygonales.

Les figures 153 à 156 (Pl. XXX) montrent un bel exemple de tels tissus. Les parois épaissies

et lignifiées des cellules sont nettement visibles dans ces sections transversales (normales à l'allongement des cellules) ainsi que les membranes moyennes celluloses (Mm) qui marquent bien les limites des cellules voisines. Les cavités cellulaires (cc) sont remplies par une substance brillante, amorphe dont l'aspect est identique à la pâte (P) ou substance fondamentale de la houille. C'est également une substance brillante amorphe analogue à la précédente qui occupe les espaces restés vides par suite de la disparition des tissus des rayons médullaires (Rm). La masse ligneuse affecte ici la forme d'une lame étalée parallèlement au plan de stratification (Tl, Fig. 153) s'amincissant légèrement à ses extrémités (Tl, Fig. 154). Elle présente dans diverses régions des commencements de dissociations, certaines cellules s'isolant les unes des autres par suite de la destruction des membranes moyennes (région marquée C<sub>1</sub> sur la figure 155). L'alignement des cellules à parois épaissies et lignifiées, leur groupement en masses à sections rectangulaires séparées les unes des autres par des rayons médullaires indiquent qu'il s'agit ici d'un tissu vasculaire ligneux c'est-à-dire de « bois » dans le sens que les botanistes donnent à ce terme.

La figure 146 (Pl. XXVIII) montre, à plus faible grossissement, en F, une masse de tissu vasculaire ligneux dont la structure en section transversale est presque identique à celle que l'on observe sur les figures 153 à 156 (Pl. XXX). Les cellules coupées transversalement (perpendiculairement à leur allongement) ont des contours polygonaux tandis que leurs cavités sont sensiblement circulaires ou ellipsoïdales. Dans le cas de la figure 146 l'alignement des cellules est particulièrement net, les parois lignifiées étant très épaisses le tissu très dense rappelle la structure du bois des conifères.

Les figures 148 à 152 (Pl. XXIX) montrent également des sections transversales (perpendiculaires à l'allongement des cellules) de tissus ligneux dont les aspects diffèrent légèrement des bois précédents. La figure 148 permet d'observer, dans sa partie centrale, (F), une lame ligneuse formée de cellules à peu près égales. Au contraire, la lame ligneuse (F) de la figure 149 est constituée par des cellules de tailles différentes, un certain nombre de grandes cellules se trouvant réparties au milieu de cellules plus nombreuses et plus petites. La figure 150 représente un bois à parois minces tandis que les figures 151 et 152 montrent à des grossissements différents un tissu vasculaire ligneux à parois très épaisses. Les figures 148 à 152 représentent manifestement des bois différant sensiblement les uns des autres et de ceux représentés par les figures 146 (F) et 153 à 156.

#### b. — SECTIONS LONGITUDINALES

Dans l'étude systématique d'un bois vivant ou fossile, les botanistes ou les paléobotanistes doivent soumettre à l'observation microscopique deux sortes de *sections longitudinales* ou *sections parallèles à l'allongement des cellules*, qu'ils obtiennent en orientant convenablement le plan de la coupe ou de la lame mince. Les *sections radiales* sont représentées théoriquement par des plans parallèles à l'allongement des cellules, passant par l'axe de révolution de l'organe supposé parfaitement cylindrique. Les *sections tangentielles* correspondent théoriquement à des plans parallèles à l'allongement des cellules menés tangentiellement par chaque génératrice du cylindre théorique qui représente l'organe.

Lorsqu'il s'agit de végétaux vivants ou pétrifiés dont la morphologie externe peut être observée il est facile d'orienter de telles sections. Dans l'étude de lignites formés par l'accumu-



lation de masses ligneuses d'assez grande taille (lignites xyloïdes) il m'a été possible d'obtenir par la méthode des surfaces simplement polies [187] les différents types de sections et d'observer l'allure des cellules des rayons médullaires, allure qui permet de distinguer ces deux types de sections longitudinales <sup>(1)</sup>.

Dans la houille les tissus ligneux enrobés dans la masse du combustible à l'état de petits fragments ne permettent pas d'orienter à priori de telles sections, la morphologie des organes dont ils dérivent n'étant jamais observable. Dans ces conditions, c'est uniquement le hasard qui détermine l'orientation des sections horizontales et verticales par rapport à l'allongement des cellules des masses ligneuses.

Sauf dans un très petit nombre de cas il m'a été impossible de distinguer dans les sections longitudinales obtenues de cette manière les coupes radiales des coupes tangentielles. Je me bornerai donc à les signaler dans le développement qui va suivre comme *sections longitudinales* sans préciser leur orientation par rapport à l'organe dont dérivent les tissus ligneux en question.

La figure 144 (Pl. XXVIII) représente en  $F_2$  et  $F_3$  l'aspect caractéristique des tissus vasculaires ligneux (bois) en section longitudinale. Les cavités cellulaires ont l'allure de longs tubes et les parois se présentent sous forme de bandelettes plus ou moins épaisses. En  $F_2$  on observe un tissu ligneux à parois minces, en  $F_3$  un tissu analogue à parois beaucoup plus épaisses. Dans la même figure on peut voir en  $F_1$  une masse ligneuse en section transversale dont l'aspect est à peu près identique à celui que présenterait le tissu  $F_3$  dans une telle section. Le tissu ligneux  $F_2$  aurait au contraire en section transversale, aux dimensions près, l'allure de celui représenté par la figure 150. (Pl. XXIX).

La figure 170 (Pl. XXXIII) montre les aspects caractéristiques qu'affectent les cellules ligneuses des tissus vasculaires suivant que la section longitudinale passe par la cavité ou la paroi cellulaire. En  $f$  la coupe intéresse la cavité cellulaire et la cellule a l'allure d'un tube étroit. En  $f_1$  la surface polie passe par la paroi et la cellule se présente alors sous forme d'une bandelette. La figure 171 montre en  $f$  une cellule ligneuse en coupe longitudinale et en  $f_1$  une cellule analogue en coupe transversale. Dans la partie gauche de la figure la surface polie, qui est légèrement oblique par rapport à l'axe de la cellule ligneuse, intéresse la paroi seulement tandis que dans la partie droite elle passe par la cavité cellulaire. La microphotographie 171 permet donc d'observer sur une même cellule ligneuse les deux aspects présentés par les cellules  $f$  et  $f_1$  de la figure précédente (Fig. 170).

Une section de feuille (Fig. 90 et 91, Pl. XVII) permet d'observer en section longitudinale des cellules à parois lignifiées ( $fl$ ) séparées les unes des autres par disparition des membranes moyennes cellulosesiques. Il s'agit ici de fibres sclérifiées ou de cellules ligneuses de l'une des nervures ( $N$ ) de la feuille.

En résumé, les sections longitudinales de tissus ligneux viennent confirmer les observations que permettent de faire les coupes transversales.

### c. — SECTIONS OBLIQUES

Comme je l'ai dit précédemment, dans la quasi impossibilité où l'on se trouve d'orienter les surfaces polies de houille par rapport aux masses ligneuses il faut se contenter de les tailler

(1) Voir en particulier les figures 3, 4, 5 et 6 de la planche XI qui accompagne la note [187].

soit parallèlement, soit perpendiculairement au plan de stratification. Le choix exclusif de ces deux seuls types de sections est du reste rendu nécessaire par le souci d'obtenir des préparations rigoureusement comparables. Dans ces conditions, on comprend facilement que dans la plupart des cas de telles sections coupent les masses ligneuses suivant des directions quelconques obliques par rapport à l'allongement de leurs cellules.

L'aspect des sections obliques des tissus lignifiés varie suivant la valeur de l'angle que fait le plan de coupe avec la direction d'allongement des cellules.

Lorsque cet angle est très faible, c'est-à-dire quand le plan de la coupe est très voisin de la direction d'allongement, l'aspect est à peu près le même que celui d'une section longitudinale. Au contraire, lorsque cet angle se rapproche d'un droit la section devient presque normale à l'allongement des cellules et elle ressemble alors beaucoup à une section transversale.

Pour les différentes positions du plan de la section oblique l'on conçoit aisément qu'on puisse observer toutes les structures intermédiaires entre celles des sections transversales et longitudinales. En règle générale, en sections obliques les cellules paraîtront d'autant plus courtes que le plan de la coupe sera plus voisin du plan transversal, d'autant plus longues que ce même plan sera plus proche d'un plan longitudinal. De plus, les sections obliques peuvent couper uniquement certaines cellules suivant l'épaisseur de leurs membranes et leurs voisines suivant leurs cavités. Il en résulte des aspects variant presque à l'infini qui peuvent paraître bizarres à première vue, mais qu'avec un peu d'habitude il est facile de déterminer comme tissus ligneux.

De telles sections présentent peu d'intérêt au point de vue de l'étude morphologique des tissus ligneux et on ne s'étonnera donc pas que, malgré leur fréquence, un très petit nombre d'entre elles ait trouvé place dans la figuration du présent ouvrage.

Les figures 139, 141, 142, 143 (Pl. XXVII); 146, 147 (Pl. XXVIII); 166, 168, 169 (Pl. XXXIII) 178 (Pl. XXXIV) ; 192, 193 (Pl. XXXVI) ; 198 (Pl. XXXVIII) ; représentent les aspects différents qu'offrent les tissus ligneux en sections obliques.

En résumé, les tissus ligneux ayant conservé leur aspect primitif que l'on rencontre dans la houille présentent des caractères tels que leur détermination spécifique ne peut faire aucun doute. Comme ils ne peuvent guère être étudiés pratiquement que suivant une seule direction de coupe il est souvent difficile de les attribuer avec certitude au bois (tissu vasculaire ligneux) ou au sclérenchyme des plantes houillères, cette distinction ne pouvant être faite que dans un petit nombre de sections transversales ou longitudinales.

Si la détermination comme tissus lignifiés de ces corps figurés des houilles est relativement facile et si dans ces conditions un examen même superficiel permet de se rendre compte qu'il existe dans ces charbons un grand nombre de types de bois et de sclérenchyme, les caractères distinctifs observés semblent insuffisants pour qu'on puisse espérer aboutir à une détermination spécifique de la plante qui leur a donné naissance.

## B

## Tissus ligneux transformés par des actions mécaniques.

(Structure en étoile ou *Bogenstruktur*).

## a. — ASPECT DES STRUCTURES EN ÉTOILES

On rencontre fréquemment dans la houille des masses ligneuses analogues comme formes et comme dimensions à celles dont la fossilisation est parfaite, mais présentant des particularités de structures telles qu'on hésiterait à première vue à les déterminer comme dérivant des tissus vasculaires ou des sclérenchymes des plantes houillères.

Ces structures particulières sont extrêmement voisines de celles qu'affectent certaines roches volcaniques où elles avaient été décrites sous le nom de *bogenstruktur* <sup>(1)</sup>, c'est-à-dire de « *structure en arc* », terme qui a été utilisé par M. SEYLER en lithologie houillère [562]. Ces structures que j'ai proposé de désigner par le terme de « *structure en étoile* » ou de « *structure étoilée* » termes qui les définissent d'une façon précise sont très fréquentes et très générales, car figurées d'abord par M. SEYLER [562 et 564] et par moi [180] elles l'ont été plus récemment par M. M. STACH [582] et CHOSO IWASAKI [339], faits qui montrent qu'on les rencontre indifféremment dans des houilles allemandes, anglaises, japonaises et françaises.

Les figures 158, 159 et 161 de la planche XXXI montrent des exemples typiques de la structure étoilée qui resterait énigmatique s'il n'était possible d'observer toutes les formes de passage entre elles et les tissus ligneux normaux et si, d'autre part, on ne les rencontrait pas dans certaines régions seulement de masses ligneuses à structure cellulaire nette.

La genèse des tissus ligneux à structure étoilée est mise en évidence par les figures 153 à 154 (Pl. XXX) <sup>(2)</sup> et 58<sup>t</sup>. Sur la figure 155 la structure cellulaire est très nette, mais l'on voit dans certaines régions que les parois cellulaires se rompent dans leur zone médiane de façon à isoler des corps en forme d'étoiles dont chacun est constitué par les angles épaissis de plusieurs cellules adjacentes. Lorsque ce phénomène de dislocation se généralise et que l'ensemble subit un léger tassement résultant d'une compression de la masse ligneuse ou de l'effondrement des corps étoilés les uns sur les autres, il en résulte l'aspect particulier présenté par les Fig. 157 a et b (Pl. XXXI).

Les figures 157 a et 157 b (Pl. XXXI) montrent à des grossissements différents un tissu ligneux dont la structure est nettement intermédiaire entre celle des tissus normaux et la structure étoilée typique. Les figures 163, 165 (Pl. XXXII), 173, 175 (Pl. XXXIV) et 190 (Pl. XXXVI) montrent également des tissus ligneux à structure en étoile. La figure 160 (Pl. XXXI) représente un cas particulier de tissus ligneux à structure étoilée ; dans toutes les figures précédentes les espaces compris entre les corps en étoile contiennent une substance de remplissage granuleuse et noire qui ici est remplacée par une substance amorphe sans structure analogue à la pâte (subs-

(1) Il s'agit d'une structure très voisine de la « *texture cinéritique* ».

(2) Cette genèse peut encore être observée sur certaines figures que j'ai publiées antérieurement. Voir : ([197], Pl. II, Fig. 5 et 6), ([202], Fig. 1 et 2, p. 59).

tance fondamentale) de la houille. De plus, dans le cas de la figure 160 la substance primitivement ligneuse des corps en étoile est fortement gélifiée.

Quant aux corps étoilés considérés individuellement ils présentent fréquemment des états de conservation qui peuvent être aussi parfaits que ceux des tissus ligneux entiers. Les membranes moyennes celluliques ont été parfois fossilisées, elles forment les axes des étoiles et marquent les limites respectives des différentes cellules qui ont concouru à la genèse de chacune de ces étoiles. La plupart de ces dernières, comme le montre le schéma ci-contre (Fig. 58<sup>t</sup>), sont constituées par les angles de trois cellules adjacentes, plus rarement de quatre. Les étoiles provenant d'une même file de cellules peuvent rester soudées les unes aux autres (Fig. 165, Pl. XXXII, Fig. 176, Pl. XXXIV) ou former des chaînes de quelques individus seulement (Fig. 177, Pl. XXXIV). Même dans le cas d'isolement des corps étoilés dans la pâte de la houille, isolement

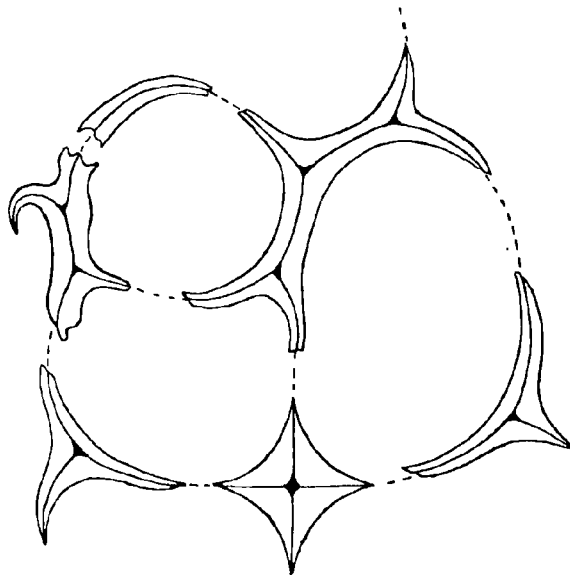


FIGURE 58<sup>t</sup>. — Figure schématique expliquant la formation des différents types de corps étoilés visibles sur les Fig. 116, 117 (Pl. XXIII) ; 157 à 169 ; 173 à 186 (Pl. XXXI à XXXV). — Les divers types d'étoiles, plus ou moins complexes, ont été disposés de façon à occuper leurs emplacements initiaux dans le tissu ligneux reconstitué tel qu'il était avant son morcellement par rupture des membranes et isolement de fragments comprenant des parties de plusieurs cellules voisines. Les pointillés indiquent les membranes moyennes des cellules ligneuses.

qui atteste la dislocation totale de la masse ligneuse, la fossilisation peut encore être parfaite puisque l'on peut observer dans certains cas la persistance de la membrane moyenne (Fig. 177, Pl. XXXIV).

La formation des corps en étoile par rupture des parois cellulaires dans les régions où elles étaient plus minces a eu pour conséquence de faire perdre aux cavités cellulaires leur *individualité* ce qui a, par contre coup, entraîné pour la masse ligneuse tout entière une diminution de *rigidité* et de *cohésion*. Le résultat de ces diverses modifications a été l'effondrement des différents corps étoilés les uns sur les autres par suite de l'action de leur propre poids ou d'une légère compression. L'absence de tassement et d'écrasement des corps étoilés atteste en effet qu'antérieurement à leur durcissement définitif les masses ligneuses n'ont pas dû subir de laminations ou de compressions considérables. Dans ces conditions, les vides correspondant aux cavités cellulaires se trouvent néanmoins considérablement réduits et présentent des contours

très irréguliers ; ils sont remplis soit par une substance granuleuse noire analogue à celle que l'on rencontre dans les cavités cellulaires des tissus entiers (comparer les figures 148 à 152, Pl. XXIX, d'une part, et les figures 157 à 159, 161, Pl. XXXI, d'autre part), soit par la pâte (substance fondamentale) de la houille que l'on trouve également dans des circonstances analogues (comparer les figures 153 à 156, Pl. XXX, à la figure 160, Pl. XXXI).

À côté des structures étoilées typiques constituées par des masses ligneuses complètement désarticulées réduites à l'état de corps étoilés isolés, effondrés les uns sur les autres on rencontre certaines sections obliques de tissus ligneux entiers présentant des aspects extrêmement voisins et quasi similaires. De telles sections obliques coupent en effet les régions communes à plusieurs cellules suivant une figure en étoile et la seule différence observée est alors que toutes ces étoiles sont unies à leurs voisines par les prolongements en bandelettes rectilignes ou contournées de chacune de leurs branches. Les figures 162 (Pl. XXXII) et 166, (Pl. XXXIII) offrent des exemples de cette structure en étoile ou bogenstruktur particulière.

#### b. — CAUSES ET ORIGINE DE LA STRUCTURE EN ÉTOILE DES TISSUS LIGNEUX

Si l'on excepte le cas particulier, cité dans les dernières lignes du paragraphe précédent, de structures en étoile déterminées par l'obliquité de certaines coupes de tissus ligneux entiers, ces structures particulières résultent de causes que j'ai exposées antérieurement [185] et que je rappellerai ici.

Ces structures en étoiles ou bogenstruktur sont caractérisées par la trituration de tout ou partie de certaines masses ligneuses complètement ou partiellement transformées en corps étoilés effondrés les uns sur les autres. Le fait que les corps étoilés présentent les mêmes états de conservation que les tissus entiers et qu'en particulier dans certains d'entre eux les membranes moyennes ont été fossilisées atteste que dans les deux cas les transformations d'ordre chimique ou bio-chimique ont dû être identiques et ne peuvent être invoquées pour expliquer les différences de structure.

Seule une action purement mécanique a donc provoqué le morcellement des tissus ligneux et il reste à déterminer sous quelles influences elle s'est produite. Un fait observé d'une façon absolument constante est l'absence d'écrasement des corps étoilés dans les sections verticales, la diminution de volume ou d'épaisseur des lames ligneuses n'étant due qu'à l'affaissement des fragments les uns sur les autres sous l'action de leur propre poids ou d'une légère pression (poids de la lame d'eau surplombante par exemple). En effet, une pression importante aurait nécessairement entraîné l'écrasement et le tassement des corps étoilés ou tout au moins leur stratification ou disposition en lits parallèles. Or, les figures 158, 159, 160, 161, (Pl. XXXI) montrent qu'il n'en est rien même lorsque, comme c'est le cas pour la figure 160, les tissus lignifiés sont fortement gélifiés et ont dû, par conséquent, passer par un stade de ramollissement assez prononcé.

Les actions d'origine externe (compressions ou laminations) se trouvant ainsi écartées seules des actions internes peuvent être invoquées pour expliquer la formation des corps étoilés et leur genèse se comprend facilement si l'on admet que les tissus ligneux ainsi transformés ont subi préalablement à leur enfouissement l'action desséchante de l'atmosphère. Dans ces conditions, la dessiccation ne s'opérant pas régulièrement et n'affectant nécessairement que certaines

zones de préférence aux autres <sup>(1)</sup>, les diminutions de volumes correspondantes de certaines parties seulement d'une masse rigide devaient provoquer des tensions internes génératrices de forces variant constamment en intensités et en direction. Ce phénomène qui se répétait par suite d'alternatives de sécheresse et d'humidité pouvait au bout d'un certain temps provoquer la trituration complète du tissu ligneux par rupture des parois cellulaires dans les régions où elles étaient plus minces et la formation généralisée de corps étoilés. Lorsque, au contraire, la période de dessiccation qui a précédé l'immersion d'une masse ligneuse a été moins longue ou moins intense la formation des corps en étoile restait localisée comme c'est le cas pour les tissus des figures 157 a, 157 b, Pl. XXXI et 173, Pl. XXXIV.

Cette hypothèse permet d'expliquer en même temps l'existence de toutes les formes de passage entre les tissus normaux et les tissus complètement désarticulés.

En résumé, si l'on admet cette conception on peut tirer de l'étude simultanée des deux types de tissus ligneux étudiés précédemment les conclusions suivantes :

1° Les tissus ligneux à structure bien conservée sont ceux qui ont été immergés immédiatement ou très peu de temps après la mort du végétal dont ils dérivent.

2° Les tissus ligneux à structure étoilée sont au contraire ceux qui ont subi antérieurement à leur immersion ou enfouissement une dessiccation plus ou moins prononcée par suite d'une exposition dans l'air atmosphérique.

3° Les tissus ligneux qui présentent des structures intermédiaires auraient d'abord subi une dessiccation partielle avant leur immersion ou enfouissement.

4° Les tissus ligneux à structure étoilée peuvent suivant les cas avoir subi la transformation en *houille mate* (Fusain) ou en *houille brillante* (Xylovitrain et Xylain).

## C

### Tissus ligneux gélifiés.

(Xylain-Xylovitrain)

Les tissus lignifiés étudiés et décrits dans les deux paragraphes précédents se rencontrent surtout dans la variété de houille mate connue presque universellement sous le nom de « *Fusain* ».

Nous avons vu précédemment que l'un de ces types de tissus lignifiés caractérisé par la *structure en étoiles* (ou *bogenstruktur*) est le résultat d'actions mécaniques qui ont affecté des tissus analogues à ceux qui présentent des structures normales. Ces actions mécaniques ne sont pas les seules qui étaient susceptibles de modifier les tissus ligneux et de transformer leur aspect primitif. Ces autres actions dues à des *agents chimiques* ou *bio-chimiques* ont procédé d'une façon toute différente en provoquant le gonflement des membranes cellulaires et l'occlusion des cavités de ces mêmes cellules ; elles ont tendance à transformer les tissus ligneux en masses amorphes sans structure rappelant l'aspect d'une gelée. C'est pour cette raison que j'ai proposé de désigner

(1) Par exemple les zones en contact direct avec l'air dans le cas d'un fragment de bois reposant sur un sol humide.

ce phénomène sous le nom de « *gélification* » et les tissus ainsi modifiés par le terme « *tissus ligneux gélifiés* ».

Ces phénomènes de gélification aboutissent comme je l'ai montré antérieurement [183] à la formation de variétés de houilles brillantes que j'ai désignées par les termes « *Xylain* » et « *Xylovitrain* », houilles brillantes ayant des origines ligneuses, mais présentant des états d'altération (gélification) différents.

En effet, de même que l'on rencontre toutes les formes intermédiaires entre les tissus ligneux à structure normale et ceux à structure étoilée, on peut observer toutes les formes de passage entre les masses ligneuses à organisation nette et celles transformées en substance amorphe, colloïdale sans aucune trace de leur structure primitive.

Les figures 194 et 195 (Pl. XXXVII) montrent la superposition de lames ligneuses présentant des états de fossilisation différents. Les tissus lignifiés T<sub>1</sub>, T<sub>1</sub><sub>1</sub>, T<sub>1</sub><sub>2</sub>, T<sub>1</sub><sub>3</sub>, T<sub>1</sub><sub>4</sub> de la figure 194 ont conservé des structures cellulaires nettes tandis que la lame T<sub>1</sub><sub>5</sub> est fortement gélifiée (*Xylain*) quoique la structure cellulaire y soit encore visible. Par contre, la lame ligneuse T<sub>1</sub><sub>6</sub> est complètement transformée en substance amorphe (*Xylovitrain*). Sur la figure 195 on peut observer une lame de tissu ligneux (T<sub>1</sub>) nettement visible dans la pâte de la houille bien qu'étant formée comme elle de substance amorphe.

Les figures 196 et 197 (Pl. XXXVII) montrent la stratification de lames ligneuses fortement gélifiées dans un charbon de spore. Ces masses ligneuses plus épaisses que celles des figures précédentes affectent l'allure de coin (T<sub>1</sub><sub>1</sub>, Fig. 196) ou de lames à extrémités tronquées en biseaux (T<sub>1</sub>, Fig. 196 et 197). Le coin T<sub>1</sub><sub>1</sub> a perdu toute trace de structure et est par conséquent à l'état de *Xylovitrain*. La lame T<sub>1</sub> montre, au contraire, quelques vestiges d'organisation sous forme de cavités cellulaires allongées qui indiquent qu'il s'agit d'une coupe longitudinale d'un tissu ligneux gélifié (*Xylain*).

Les figures 198 à 200 (Pl. XXXVIII) permettent d'observer des stades de gélification progressifs de tissus ligneux analogues. Sur la figure 198 le tissu T<sub>1</sub> présente une structure cellulaire nette bien visible dans toutes ses parties. Au contraire, la figure 199 montre une lame ligneuse où la structure cellulaire n'est plus visible que suivant de nombreux îlots séparés par des bandes de substance amorphe provenant de la gélification en place de cellules adjacentes. Dans la lame T<sub>1</sub> de la figure 200 la substance amorphe d'origine ligneuse domine et la structure cellulaire n'est plus visible que suivant quelques plages peu étendues (I, Fig. 199 et 200).

Les figures 201 et 202 (Pl. XXXVIII) montrent des masses ligneuses gélifiées respectivement comparables aux lames lenticulaires de tissu ligneux à structure cellulaire nette représentées par les figures 141 et 143 (Pl. XXVII).

La gélification affecte non seulement les tissus ligneux à structure normale comme ceux qui font l'objet des descriptions précédentes, mais se rencontre encore fréquemment parmi les tissus présentant la structure en étoile (*bogenstruktur*). On peut se rendre compte de ce fait en comparant les figures 160 et 161. (Pl. XXXI), 173 et 175 (Pl. XXXIV). Les figures 160 et 175 montrent des structures en arc typiques de masses ligneuses fortement gélifiées. Quant à la gélification plus ou moins complète de masses primitivement formées de tissus à structure étoilée elle est mise en évidence par la figure 163. (Pl. XXXII) où dans une même lame ligneuse la structure étoilée est nettement visible en « e » dans la partie centrale, tandis que les zones plus externes supérieure et inférieure sont fortement gélifiées.

Contrairement à ce qui a été dit assez souvent la gélification et l'absence de remplissage des cavités cellulaires par une substance minérale ne nuisent pas à la visibilité des tissus ligneux. Les figures 160, 175 et surtout les différentes figures de la planche XXXIX montrent que même lorsqu'ils sont fortement gélifiés les tissus ligneux se distinguent encore de la pâte (substance fondamentale) de la houille. Les figures 206 et 207 sont particulièrement instructives à ce sujet. La figure 206 permet d'observer le remplissage par la pâte de la houille d'une déchirure (I) d'une masse ligneuse (Tl, Tl<sub>1</sub>). La figure 207 montre la superposition de deux lames ligneuses gélifiées (Tl et Tl<sub>1</sub>) séparées par une mince couche de pâte (P')

La gélification des masses ligneuses a entraîné une diminution de leur rigidité et même leur ramollissement. Ces faits sont mis en évidence par le ploïement en arc de certaines d'entre elles. (Fig. 194, Tl<sub>5</sub> ; 195, Tl, Pl. XXXVII) par leurs plissements (Fig. 187, Pl. XXXV), et surtout par les déformations subies sous l'action de corps étrangers (Fig. 119, Pl. XXIII).

En résumé, la gélification est un phénomène de nature chimique ou biochimique qui affecte aussi bien les tissus ligneux à structure cellulaire normale que ceux qui présentent la structure en étoile. Lorsqu'elle est totale elle donne naissance à *des variétés de houilles brillantes d'origine ligneuse* dont les caractères distinctifs seront donnés dans le chapitre réservé à l'étude des constituants macroscopiques des houilles.

## D

### Fragments de Tissus ligneux.

(Cellules et fragments de cellules)

Nous avons étudié dans les trois paragraphes précédents les états de fossilisation des masses ligneuses *relativement* <sup>(1)</sup> volumineuses que l'on rencontre dans la houille.

Les mêmes actions (actions mécaniques d'une part, actions chimiques ou bio-chimiques, d'autre part) génératrices des structures en étoiles et de la gélification des masses ligneuses ont pu dans certains cas entraîner leur dissociation et provoquer leur fragmentation en menus débris.

C'est l'étude morphologique de ces petits fragments formés de quelques cellules seulement, et même dans certains cas d'une seule cellule, qui fera l'objet du présent développement. Cette fragmentation extrême des tissus ligneux peut avoir deux causes très différentes qui permettent de distinguer :

- a) Les fragments provenant d'actions mécaniques.
- b) Les fragments provenant d'actions chimiques ou bio-chimiques.

#### a. — FRAGMENTS D'ORIGINE MÉCANIQUE

(Corps étoilés isolés ou réunis en petits groupes).

Nous avons vu que les actions mécaniques résultant de la dessiccation des masses ligneuses ont provoqué une véritable dislocation de ces masses en diminuant considérablement leur

(1) Comme nous le verrons plus loin ces masses de tissus ligneux sont toujours de petites dimensions.



cohésion. Lorsque la dessiccation a été très accentuée elle a pu entraîner leur division en fragments plus petits. Au cours de leur transport dans les eaux de la lagune houillère ces mêmes masses ligneuses ont pu également se désagréger plus ou moins profondément par suite d'actions mécaniques.

C'est ainsi que se sont formés les menus fragments de tissus ligneux à structure étoilée tels que celui représenté par la figure 173 (Pl. XXXIV) et constitué par un petit nombre de cellules. La figure 174 montre un fragment de bois complètement disloqué dont les débris de cellules ont l'aspect d'étoiles plus ou moins compliquées ou de bandelettes qu'on hésiterait à déterminer comme ayant appartenu à un tissu ligneux si on les trouvait isolés dans la pâte de la houille comme c'est le cas pour le fragment T1 de la figure 175.

Fréquemment la fragmentation des tissus à structure étoilée a été beaucoup plus accentuée et l'on rencontre souvent au milieu de la pâte colloïdale de la houille des files de corps étoilés peu nombreux (Fig. 176 et 177) et parfois complètement isolés. Malgré cet état de division extrême la fossilisation de la substance ligneuse peut être parfaite comme dans la figure 177 où la membrane moyenne des cellules a été fossilisée.

Les figures 164 et 165 (Pl. XXXII) permettent d'observer l'isolement par files (Fig. 165) par groupes (Fig. 164) ou par individus (Fig. 163) des corps étoilés.

Les figures 178, 179, 180, (Pl. XXXIV), 187 188, 189 (Pl. XXXV) montrent clairement d'autres aspects des menus fragments de tissus ligneux dont certains ne seraient pas déterminables s'ils n'étaient reliés aux fragments reconnaissables par tout une série d'intermédiaires.

#### b. — FRAGMENTS PROVENANT D' ACTIONS CHIMIQUES OU BIO-CHIMIQUES

##### (Pseudo-spores)

Les tissus ligneux n'ont pas une structure homogène et leur hétérogénéité est surtout mise en évidence dans la houille par la présence des *rayons médullaires* et des *membranes moyennes* <sup>(1)</sup>.

Étant donnée cette hétérogénéité les agents chimiques ou bio-chimiques devaient forcément exercer une action sélective et entraîner la destruction de certaines parties de préférence à d'autres. C'est précisément ce que démontre l'étude des tissus ligneux fossilisés dans la houille.

En particulier, les rayons médullaires sont constitués par des cellules très différentes de celles des masses ligneuses et contiennent fréquemment des cellules sécrétrices. Il n'est donc pas étonnant que dans certaines circonstances les masses ligneuses proprement dites et les contenus protoplasmiques des cellules sécrétrices aient été fossilisés tandis que les membranes des cellules des rayons médullaires fortement altérées se sont trouvées réduites à l'état de substance amorphe ou de débris informes. C'est ce que montre précisément la figure 117 (Pl. XXIII).

Dans certains cas tous les tissus des rayons médullaires peuvent disparaître en se transformant en substance amorphe de manière à isoler les unes des autres les masses ligneuses comprises entre deux rayons médullaires adjacents. Sur la figure 155 (Pl. XXX) on peut observer une telle masse ligneuse à gauche du rayon médullaire marqué par l'indication Rm. Il se développait de cette façon dans la masse des tissus ligneux des directions de moindre cohésion

(1) Dans les végétaux ligneux l'hétérogénéité des tissus lignifiés est encore mise en évidence par l'existence d'anneaux concentriques de bois saisonniers ou annuels. Ce caractère n'a jamais été observé par moi dans les houilles paléozoïques de nos régions.

qui devenaient dans certaines circonstances le point de départ d'une fragmentation plus accentuée. C'est ainsi qu'aurait pris naissance le fragment T1 de la figure 172 (Pl. XXXIV) entièrement comparable aux dimensions près à celui de la figure 155. C'est de cette façon que se sont individualisés les petits fragments de tissus ligneux à structure bien conservée tels que celui représenté par la figure 151 (Pl. XXIX).

L'existence des membranes moyennes des cellules ligneuses constitue une autre cause d'hétérogénéité des tissus de soutien ou de conduction des végétaux. La lignification des parois primitivement cellulósiques ne se réalise pas d'une façon continue, de sorte que certaines parties de la membrane restent formées de cellulose et de pectose. En particulier, la membrane moyenne qui marque la limite d'une cellule avec ses voisines conserve cette composition chimique et ainsi toute cellule ligneuse se trouve limitée de toutes parts par une lame constituée par des substances beaucoup plus attaquables que la lignine. Dans ces conditions, on comprend facilement que parfois les membranes moyennes aient pu disparaître tandis que les membranes lignifiées plus résistantes se trouvaient fossilisées. Ce processus de fossilisation très différent de ceux que nous avons observés jusqu'ici tend donc à *isoler complètement les cellules ligneuses les unes des autres et aboutit lorsqu'il est généralisé à la dissociation complète du tissu vasculaire ou du sclérenchyme*. Ce processus de dislocation des tissus ligneux par destruction des membranes moyennes a été observé par BERNARD RENAULT dans les silex de Grand' Croix près Saint-Étienne. Cet auteur a décrit et figuré le microbe auquel il attribue la dissociation des tissus représentés et l'a désigné sous le nom de « *Micrococcus hymenophagus* » ([527], Fig. 45 du texte, Fig. 6, pl. III).

L'étude de surfaces de houille simplement polies examinées en lumière réfléchie m'a permis d'observer ce même processus d'isolement des cellules ligneuses par destruction de la membrane moyenne. La figure 190 (Pl. XXXVI) permet d'observer une cellule ligneuse C<sub>1</sub> complètement isolée, mais restée à proximité de son alvéole constituée par les cellules voisines. Cette alvéole est bien visible au-dessous et légèrement à gauche de la cellule C<sub>1</sub>. Pour une partie au moins de son pourtour l'isolement de C<sub>1</sub> s'est produit par destruction de la membrane moyenne. La pâte qui entoure le fragment de tissu ligneux est remplie de granules isolés ou réunis en chapelets de deux ou trois individus comparables aux micrococques décrits par RENAULT. La figure 191 montre une section transversale d'une grande cellule ligneuse C isolée dans la pâte de la houille où elle voisine avec des fragments de tissus ligneux formés d'éléments beaucoup plus petits. La cellule C à parois très rigides et en partie brisées a sa cavité comblée par un remplissage de carbonate de fer (Sidérose).

Les figures 170 et 171 (Pl. XXXIII) contiennent des sections longitudinales, transversales et légèrement obliques de cellules ligneuses complètement isolées des tissus dont elles proviennent et disséminées dans la pâte de la houille ou au milieu d'autres corps figurés. Par contre, la figure 167 de cette même planche montre un tissu ligneux partiellement transformé en corps étoilés, mais où de nombreuses cellules à section circulaire, analogues à celles des figures 171 (f<sub>1</sub>) et 191 (C) Pl. XXXVI, sont à peu près complètement isolées de leurs voisines.

Les sections transversales de cellules ligneuses isolées dans la houille présentent fréquemment, du moins à première vue, des aspects extrêmement voisins de ceux des spores en sections verticales et il n'est donc pas étonnant que certaines d'entre elles aient été déterminées comme telles. Or, comme nous le verrons plus loin, lors de l'étude des différentes variétés de houilles

les spores ne se rencontrent en règle générale que dans certaines d'entre elles où leur présence acquiert une signification d'ordre très général <sup>(1)</sup> et cette confusion doit être évitée car elle introduit dans l'étude des houilles des erreurs dont la portée est considérable. C'est pour cette raison que j'ai figuré et que je décrirai assez longuement quelques coupes de cellules ligneuses dont l'aspect se rapproche beaucoup de celui de certaines spores.

Lorsque les membranes lignifiées des cellules isolées ont conservé leur rigidité ces cellules offrent en section transversale les aspects représentés par les figures 171 (f<sub>1</sub>), 190 et 191 où elles apparaissent sous forme de cercle ou d'ellipse. La figure 183 (Pl. XXXV) montre un groupe de cellules parmi lesquelles celle de gauche présente, aux dimensions et à la coloration de la substance près, l'allure générale de certaines spores <sup>(2)</sup>. L'analogie est encore plus grande quand les parois des cellules ligneuses isolées ont été gélifiées et ramollies, de sorte qu'elles ont pu à un moment donné s'affaisser l'une sur l'autre. Ces cellules donnent alors des sections transversales ayant l'allure de sacs aplatis rappelant de très près les coupes verticales de spores. Les seules différences observées consistent surtout, d'une part, dans la coloration gris pâle des parois

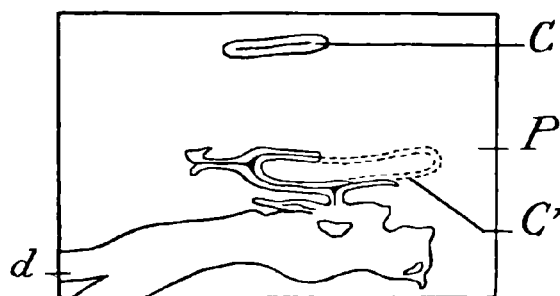


FIGURE 59<sup>t</sup>. — Schéma représentant la Fig. 186 (Pl. XXXV) et montrant le mécanisme de l'isolement de cellules ligneuses (pseudo-spores). — C, cellule lignee à allure de spore isolée dans la pâte (P) de la houille. — C', cellule lignee en partie reconstruite dans son alvéole formée par les cellules adjacentes. — d, débris de tissu ligneux dont dépend le lambeau de pseudo-spore C'.

Ce mécanisme de l'isolement des pseudo-spores est visible sur la Fig. 190 (Pl. XXXVI).

des cellules ligneuses plus claire que celle de la pâte (substance fondamentale) de la houille qui est elle-même moins foncée que la teinte grise caractéristique des spores et, d'autre part, dans le plus fort relief que présentent les tissus ligneux. Les figures 182 et 186 offrent des exemples typiques de cellules ligneuses à aspect de spores dont la détermination n'est possible que grâce à l'étude de tissus ligneux moins altérés. En particulier la figure 181 permet d'observer en C une cellule lignee isolée au milieu d'un tissu très gélifié et quasi identique à la plus petite des cellules qui figurent sur la microphotographie 182.

Le débris de tissu ligneux d de la figure 186 se termine à sa partie supérieure par un corps étoilé formé des lambeaux de plusieurs cellules dont les limites respectives sont marquées par la membrane moyenne. L'une de ces cellules, dont les parties détruites sont représentées en pointillé sur la figure schématique (Fig. 59<sup>t</sup> du texte), est identique à la cellule C isolée dans la pâte de la houille. La figure 185 montre également deux cellules C qui si elles se trouvaient isolées par disparition de la membrane moyenne présenteraient l'aspect de spores.

(1) Sauf de rares exceptions la présence de spores dans les houilles du Nord de la France semble liée à l'existence de hautes teneurs en matières volatiles.

(2) Comparer en particulier l'aspect général de cette cellule de la figure 183 aux trois macrospores à cavités assez vastes du lit Hm<sub>2</sub> de la figure 19 (Pl. V).

Lorsque la gélification, c'est-à-dire le ramollissement des parois ligneuses, est très poussée l'analogie avec les spores est encore plus grande, comme le montre la figure 184 où les cellules C, ressemblant à des sacs aplatis, voisinent avec des débris de tissu ligneux reconnaissables tels que d. Cependant même dans ce cas le fait que les pseudo-spores sont parfois anastomosées entre elles et qu'elles contiennent des trabécules (Fig. 182 et 184) les différencie nettement des spores vraies.

Enfin, dans des *sections verticales* les cellules ligneuses peuvent présenter, en coupe transversale, des aspects à peu près identiques à ceux des spores en *sections horizontales* (Fig. 171, f<sub>1</sub>, Pl. XXXIII ; Fig. 180, Pl. XXXIV) et affectent, par conséquent, l'allure de disques ou de couronnes. Dans ce cas une telle structure serait anormale en section verticale s'il s'agissait vraiment de spores, ces dernières dans de telles sections étant toujours aplaties. Le plus souvent l'association des pseudo-spores et des fragments de tissus ligneux bien déterminables placés dans le voisinage permet de reconnaître facilement leur véritable origine.

En résumé, l'étude de la fragmentation des tissus ligneux nous a montré que l'on peut encore discerner dans la pâte de la houille des *cellules ligneuses isolées et même des fragments de cellules*. Les préparations de houille obtenues par la méthode de simple polissage permettent, grâce à l'emploi de forts grossissements (jusqu'à 1.020 diamètres), de pousser l'analyse des tissus ligneux bien au delà des limites qui à ma connaissance avaient été atteintes jusqu'ici. J'ai pu ainsi observer tous les états de fossilisation depuis les tissus ligneux quasi identiques à ceux des plantes vivantes jusqu'aux menus débris presque informes et déterminables seulement par comparaison avec des stades d'altération intermédiaires, déceler la présence de coupes de cellules ligneuses ayant à première vue l'apparence de spores et signaler les confusions auxquelles elles ont donné lieu ; confusions qui, comme nous le verrons plus tard, exposent à des erreurs dont la portée est très générale puisqu'elles tendent à fausser complètement les notions essentielles concernant la genèse des combustibles.

Dans l'étude des tissus ligneux comme dans celles des spores, des cuticules et des corps résineux la méthode de préparation par simple polissage des surfaces de houille destinées à l'examen en lumière réfléchie donne des résultats au moins égaux et presque toujours supérieurs à ceux des autres procédés d'investigation microscopique.

## II

### Gisement des Tissus ligneux de la houille

Comme nous le verrons plus loin au cours de l'étude des différentes variétés de houilles, on rencontre les débris de bois ou de sclérenchyme des plantes houillères dans toutes les catégories de charbons, mais en règle générale ils présentent dans chacune d'entre elles des caractères particuliers.

Dans les houilles à hautes teneurs en matières volatiles (Charbons de cutine) ils sont le plus souvent fortement gélifiés, transformés en houille brillante et n'ont joué qu'un rôle peu important dans la formation de ces charbons eu égard à celui des spores et des cuticules.

Dans les houilles à teneurs moyennes en matières volatiles (Charbons ligno-cellulosiques à tissus lignifiés bien conservés) ils sont beaucoup plus abondants que dans les autres variétés de charbons et présentent en général des états de conservation remarquables.

Enfin, dans les houilles à faibles teneurs en matières volatiles (Charbons ligno-cellulosiques à tissus lignifiés altérés) les tissus lignifiés moins nombreux que dans les précédents sont très morcelés ou fortement gélifiés.

Néanmoins, malgré ces caractères distinctifs ils présentent dans toutes les variétés de houilles *le même mode de gisement* que j'étudierai dans le développement qui va suivre.

### A. — Morcellement accentué des tissus ligneux.

L'un des caractères constants des tissus ligneux des houilles est qu'on ne les observe jamais qu'à l'état de menus fragments *disséminés* et *stratifiés* dans la pâte de la roche combustible. Au cours de mes recherches je n'ai jamais rencontré, soit dans les houilles françaises, soit dans les houilles étrangères, d'organes entiers ; la plupart des tissus ligneux que j'ai examinés présentant des dimensions microscopiques ou quasi-microscopiques. Même ceux qui sont observables et déterminables à l'œil nu (Fusain = houille mate fibreuse) dépassent rarement quelques centimètres de longueur et quelques millimètres d'épaisseur. L'observation montre, en effet, que les lits ou lentilles de Fusain de quelque importance sont en réalité formés par l'accumulation de débris très petits comme le prouvent du reste les figures publiées par MM. WHITE [671] et THIESSEN [639]. Qu'ils soient isolés ou groupés les fragments de tissus ligneux présentent, au point de vue de leur morphologie externe, les caractères suivants :

En *sections horizontales* (parallèles au plan de stratification) les fragments de bois ou de sclérenchyme ont des contours très irréguliers en rapport avec l'altération de leurs zones marginales et des déchirures qui les découpent. La figure 139 (Pl. XXVII) montre bien ces caractères et permet d'observer dans un champ relativement restreint plusieurs fragments de tissus ligneux (F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, X) de dimensions et d'aspects différents. La figure 140 ne contient que deux fragments de tissus ligneux dont l'un (F) de grande taille, nettement individualisé, est transformé en houille mate fibreuse (Fusain), tandis que l'autre (X), à contours arrondis, est presque complètement gélifié (Xylain).

En *sections verticales* (perpendiculaires au plan de stratification) les tissus ligneux peuvent présenter également des contours assez irréguliers comme ceux que l'on voit sur les microphotographies 148 et 149 (Pl. XXIX), mais dans le cas le plus général ils affectent alors l'allure de lames étalées parallèlement au plan de stratification (Fig. 144, 145, 147, Pl. XXVIII ; 151, Pl. XXIX ; 157 a, T<sub>1</sub>, T<sub>1</sub>, Pl. XXXI ; 163, Pl. XXXII ; 194 à 196, Pl. XXXVII). Le plus souvent ces lames s'amincissent à leurs extrémités et se terminent en pointe, caractères qui indiquent qu'elles ont en réalité des formes lenticulaires. Les figures 141, 143 (Pl. XXVII), 146 (Pl. XXVIII), 157 a, F, (Pl. XXXI), 194, T<sub>1</sub>, 195, T<sub>1</sub> (Pl. XXXVII), 201, 202 (Pl. XXXVIII) montrent bien cet amincissement progressif des fragments de bois vers leurs bords. Plus rarement les lames ligneuses se terminent par des biseaux plus ou moins obliques (Fig. 196, 197, Pl. XXXVII) et parfois presque perpendiculaires à leur allongement (Fig. 151, Pl. XXIX). Tous ces caractères sont encore nettement visibles sur les figures 217 (Pl. XLII), 224, 225 (Pl. XLVI), 226,

227 (Pl. XLVII) qui sont des macrophotographies de houilles à faibles grossissements, sur les différentes figures de la planche XLVIII et sur les figures 240, 242, 243, 244 (Pl. XLIX) et 247 à 253 (Pl. L).

En résumé, les tissus ligneux des houilles se présentent en lambeaux à contours irréguliers généralement amincis sur tout leur pourtour et affectant, par conséquent, des formes lenticulaires. Cet amincissement des bords des lames ligneuses est vraisemblablement dû à l'altération et à la destruction plus rapide des angles vifs de fragments à sections en biseau tels que ceux que l'on observe plus rarement dans certaines coupes verticales de débris de bois ou de sclérenchyme.

De l'étude des formes extérieures des tissus ligneux il résulte en outre *que le bois et le sclérenchyme des plantes houillères n'existent jamais dans les charbons paléozoïques qu'à l'état fragmentaire, la division de ces tissus étant telle qu'il m'a été jusqu'ici impossible d'observer des débris de taille suffisante pour permettre une détermination spécifique des organes des végétaux dont ils dérivent.*

## **B. — Persistance de l'individualisation des masses ligneuses gélifiées dans la pâte (substance amorphe) des houilles.**

Cette première constatation qui résulte logiquement de l'étude du mode de gisement des tissus ligneux est en contradiction avec l'opinion généralement admise par les pétrographes qui ont décrit les houilles que toute la houille brillante a une origine ligneuse et dérive de la transformation de masses dont la structure cellulaire n'est plus visible que par places.

Cette théorie de l'origine exclusivement ligneuse des houilles brillantes (Vitrain) est très ancienne puisqu'elle se trouve déjà formulée dans le Mémoire de FAYOL en 1886. Reprise récemment par M. R. THIESSEN [639] et acceptée par divers auteurs elle s'appuie sur les raisons suivantes :

1° La structure cellulaire des tissus ligneux ne serait visible dans la houille brillante que là où une substance minérale remplit les cavités des cellules.

2° Il serait possible de mettre en évidence dans la houille brillante en apparence amorphe des structures cellulaires en utilisant certains procédés spéciaux (attaque des surfaces polies, etc...)

3° La présence dans la houille brillante de corps résineux devrait être interprétée comme preuve que cette houille brillante provient de la transformation en substance amorphe de tissus ligneux englobant ces corps résineux.

J'ai montré précédemment, lors de l'étude des corps résineux, que cette dernière affirmation (3°) ne pouvait s'appliquer qu'à un petit nombre de cas particuliers et perdait, par conséquent, tout caractère de généralité.

Je n'aborderai la discussion du deuxième argument (2°) que dans le chapitre réservé à l'étude de la pâte (substance fondamentale ou substance amorphe) de la houille, mais je m'attacherai ici à réfuter le premier (1°), car cette réfutation est la conséquence logique de l'étude morphologique des tissus ligneux de la houille et de leur gisement.

Si l'on accepte comme vraie la théorie de FAYOL-THIESSEN (origine purement ligneuse de toute la houille brillante) il faut admettre que les fragments de tissus ligneux que j'ai décrits

et la pâte (substance amorphe) qui les environne, qu'elle soit pure ou qu'elle contienne des corps figurés, représentent des zones différemment altérées d'une même masse ligneuse.

Or, l'un des premiers résultats de mes recherches sur les houilles a été de mettre en évidence l'existence de houille brillante amorphe d'origine incontestablement ligneuse (Xylovitrain = tissus ligneux complètement gélifiés) et de montrer qu'il existe toutes les formes de passage (Xylain = tissus ligneux partiellement gélifiés) entre cette variété de houille brillante et la houille mate fibreuse ou *Fusain* [183]. Ces variétés de houilles brillantes d'origine ligneuse (Xylovitrain et Xylain) sont surtout bien visibles dans les lits de houille mate (Durain) des charbons de spores (Pl. XXXVII, Fig. 196 et 197, Tl) grâce au contraste qui existe entre elles et les lits adjacents contenant de nombreuses spores.

Dans ce cas la présence de spores disséminées irrégulièrement dans la pâte de la houille prouve que cette pâte ne peut provenir de la gélification sur place d'une masse ligneuse.

D'autre part, les masses ligneuses complètement gélifiées et transformées en houille brillante sont encore discernables lorsque la houille adjacente ne contient pas ou peu de corps figurés. (Pl. XXXVII, Fig. 195, Tl). *Dans ce cas la houille brillante amorphe d'origine ligneuse (Tl) reste nettement individualisée au milieu de cette autre variété de houille brillante amorphe qu'est la pâte de la houille, ce qui indique bien des différences d'origine.*

Ces différences d'origine sont encore mises en évidence par certains caractères de la pâte de la houille que j'ai donnés dans mes travaux antérieurs <sup>(1)</sup> et sur lesquels je reviendrai dans le chapitre qui sera consacré à son étude.

Cette dualité d'origine est encore observable sur les figures 144 à 147 (Pl. XXVIII), 157 a (Pl. XXXI), 194 (Pl. XXXVII) où l'on voit des alternances de lames ligneuses et de lits de pâte pure ou presque pure avec menus débris de bois. Notamment, *dans le cas de la figure 194 qui représente une épaisseur d'un lit de houille inférieure à deux millimètres, il est impossible d'admettre qu'un fragment de bois unique ait pu donner naissance simultanément aux différentes lames ligneuses (Tl à Tl<sub>6</sub>, d) et aux couches de substance amorphe (pâte, P) intercalées entre elles, car il est évident qu'une fois la mise en gisement réalisée les actions qui ont affecté ce lit très mince ont été rigoureusement identiques.*

Ces observations ne s'appliquent pas seulement au cas de la figure 194, elles peuvent être généralisées en particulier aux échantillons de houille représentés par les figures 144, 145 et 147, etc...

En réalité, les lames ligneuses que l'on observe sur les figures précédentes possédaient déjà avant leur mise en gisement une individualisation égale à celle des autres corps figurés (Spores, Cuticules, Corps résineux) et ont flotté dans les eaux de la lagune houillère avant d'être dispersées sur leurs aires de dépôt. Ce morcellement des tissus ligneux avant leur mise en place est prouvé par les faits d'observation suivants :

a) Les diverses lames ligneuses que l'on observe dans des espaces inférieurs à deux millimètres présentent des aspects différents qui indiquent qu'elles ne proviennent pas d'un morcellement par gélification de certaines zones d'un même fragment.

Ces différences peuvent consister dans des variations d'orientation des coupes ou dans

(1) Voir en particulier [180], p. 66 à 70 [183].

les aspects des tissus lignifiés qui proviennent alors manifestement de plusieurs plantes distinctes.

La figure 139 (Pl. XXVII) montre en section horizontale des coupes transversales ( $F_1$ ) obliques ( $F_2$ ) et longitudinales (X). Comme la figure 140 elle permet d'observer côte à côte des fragments de bois présentant des états d'altérations très variables (fragments marqués F et X).

Sur la microphotographie 144 (Pl. XXVIII) une lame ligneuse en section transversale ( $F_1$ ) voisine avec deux lames superposées ( $F_2$  et  $F_3$ ) qui sont des sections longitudinales de tissus nettement différents, les cellules de l'un ( $F_2$ ) ayant des parois minces tandis que celles de l'autre ( $F_3$ ) ont des parois épaisses.

Les fragments de bois F, d'une part,  $F_1$ ,  $F_2$ , d'autre part, de la figure 146 proviennent manifestement de plantes diverses.

Enfin, les différences d'état d'altération de lames ligneuses voisines sont encore nettement visibles sur les figures 194 et 195 (Pl. XXXVII) <sup>(1)</sup>.

Ces différences d'altération ou d'origine des lames ligneuses voisines ne peuvent s'expliquer que si l'on admet que transportées par les vents ou par les eaux de la lagune houillère elles ont subi des vicissitudes variées qui ont entraîné leur mélange ou leur transformation plus ou moins complète.

b) L'étude et l'observation des lames ligneuses des lits de houille mate (durain) des charbons de spores nous fournit une autre preuve de la fragmentation des masses ligneuses antérieurement à leur mise en place sur les aires de dépôts.

Dans ce cas, la pâte de la houille contient d'innombrables spores et il est évident qu'au moment où ils se déposaient les fragments de bois avaient la même individualité que les spores et les autres corps figurés. (Pl. XXXVII, Fig. 196 et 197). La gélification des tissus ligneux a provoqué leur ramollissement, mais leur consistance a toujours été suffisante pour empêcher toute intrusion de corps étrangers. C'est pour cette raison que les limites des tissus ligneux restent toujours nettes même lorsqu'ils ont été complètement gélifiés. (Pl. XXXVII, Fig. 196 et 197 ; Pl. XXXVIII, Fig. 200). La netteté des limites des tissus ligneux gélifiés s'observe également quand la pâte qui est à leur contact ne contient pas de corps figurés (Pl. XXXVII, Fig. 195, Pl. XXXIX, Fig. 207).

c) Contrairement à ce que l'on a affirmé les structures cellulaires des tissus lignifiés sont encore visibles dans la houille en l'absence de toute substance minérale de remplissage comblant les cavités cellulaires. Il est évident que la présence de telles substances de remplissage, soit dans les cavités cellulaires, soit dans les espaces qui en tiennent lieu (cas de la structure étoilée), rend cette structure plus visible en raison du contraste qui existe entre son aspect et celui des membranes (Pl. XXIX, Fig. 148 à 152 ; Pl. XXXI, Fig. 157 a à 159 et Fig. 161). Néanmoins, ce caractère n'est pas indispensable à la bonne visibilité des tissus ligneux comme le prouvent les figures 153 à 156 (Pl. XXX), 160 (Pl. XXXI) et 162 (Pl. XXXII) où ces mêmes

(1) Des faits identiques peuvent être observés sur une figure publiée à plusieurs reprises par M. STACH [584], Fig. 39, p. 115. Voir aussi [581] et [582].



espaces sont comblés par une substance brillante amorphe identique à la houille amorphe encaissante.

De plus, j'ai pu montrer que des cellules isolées (Pl. XXXVI, Fig. 190 et 191) et même des lambeaux de cellules (Pl. XXXIV, Fig. 176 à 180 ; Pl. XXXV, Fig. 182 à 186) peuvent être observés au sein de la pâte de la houille, fait qui prouve que s'il subsistait des traces de structure cellulaire dans la houille amorphe elles apparaîtraient nettement par simple polissage.

De l'ensemble de ces observations précises s'appuyant sur une figuration nombreuse, il résulte que les masses de tissus ligneux sont encore visibles dans la houille même lorsqu'elles ont perdu toute structure cellulaire et que, comme beaucoup d'autres débris organisés, elles se trouvent enrobées dans la substance amorphe d'origine différente qu'est la pâte de la houille.

### C. — Stratification nette des débris de tissus ligneux.

Quelles que soient leurs formes et leurs dimensions les débris de tissus ligneux des houilles présentent le caractère constant *d'être toujours régulièrement stratifiés* dans la masse des lits élémentaires de houille qui les contiennent. Les différentes figures citées montrent clairement que dans le cas des masses lenticulaires de quelque importance, comme dans ceux des files de cellules ou des cellules isolées ou fragmentées, les grands axes des figures géométriques plus ou moins compliquées que représentent les sections sont toujours sensiblement parallèles à la direction du plan de stratification des lits élémentaires ; plan de stratification qui coïncide à peu près avec celui de la veine de houille considérée dans son ensemble. Cette stratification nette est bien visible sur toutes les figures citées précédemment et sur les macrophotographies 224 à 227 (Pl. XLVI et XLVII) et 217 (Pl. XLII) représentant respectivement des houilles ligno-cellulosiques et un lit riche en tissus ligneux intercalé dans une houille de spores.

Ce caractère n'est pas particulier aux débris ligneux puisqu'il s'observe également en ce qui concerne les spores, les cuticules et les corps résineux que nous avons étudiés dans les chapitres précédents. Il souligne de façon très nette cette propriété des houilles, trop souvent méconnue, *d'être des roches essentiellement stratifiées*.

Détail sur lequel il n'est pas inutile d'insister, la stratification des tissus ligneux des houilles est génératrice d'aspects tout différents de ceux provenant d'une lamination par tassement, lamination que montrent les tourbes actuelles et certaines sections de « Coal balls » houillers.

En résumé, l'étude de la morphologie et du mode de gisement des tissus ligneux conduit donc aux conclusions suivantes :

1<sup>o</sup> Les tissus ligneux de la houille se présentent presque exclusivement à l'état de menus fragments dont l'individualisation était antérieure à leur mise en place sur les aires de dépôt.

2<sup>o</sup> Dans la houille un fragment de tissu ligneux est donc une individualité équivalente à une spore ou à une cuticule.

3<sup>o</sup> Comme les autres corps figurés (spores, cuticules, corps résineux) les fragments de tissus ligneux sont nettement stratifiés dans la houille et enrobés dans une substance amorphe qui forme la pâte de cette roche combustible.

4° Même lorsqu'ils sont complètement gélifiés et transformés en substance amorphe les tissus ligneux des plantes houillères restent encore individualisés dans cette autre substance amorphe qu'est la pâte de la houille où les fragments de cellules sont encore discernables.

5° En raison de leurs petites dimensions les fragments de tissus ligneux des houilles étaient susceptibles d'être transportés par les courants très faibles qui animaient les eaux de la lagune houillère et même d'être dispersés par les vents.

Nous verrons plus loin dans le chapitre relatif à l'origine et au mode de formation des houilles l'importance de ces conclusions et comment elles peuvent être utilisées pour expliquer la genèse de ces roches combustibles.

### III

#### Caractères spécifiques des substances ligneuses des houilles

En surfaces simplement polies destinées à l'examen en lumière réfléchie les tissus ligneux des houilles présentent les caractères spécifiques suivants :

1° La substance des tissus ligneux plus dure que la pâte de la houille résiste mieux que cette dernière à l'action des poudres usantes et présente un certain relief en surfaces polies. C'est ce relief qui permet d'observer de menus fragments de cellules tels que ceux représentés par les figures 176 à 180 (Pl. XXXIV), 182 à 184 et 186 (Pl. XXXV).

2° La substance des tissus ligneux présente des teintes plus claires que celle de la pâte de la houille.

3° Les cavités cellulaires des tissus ligneux peuvent être remplies soit par une substance minérale formée le plus souvent par du carbonate de fer (Siderose) ou du sulfure de fer (Pyrite ou Marcassite), soit par la pâte même de la houille.

4° Les structures cellulaires de certains tissus ligneux ont été conservées et rappellent à s'y méprendre celles de ces mêmes tissus dans les plantes vivantes. Ces structures peuvent avoir été plus ou moins modifiées, soit par des actions mécaniques (Structure en étoiles = Bogenstruktur), soit par gélification et transformation en substance amorphe (houille brillante d'origine ligneuse = Xylovitrain).

5° Le morcellement des tissus ligneux peut avoir été poussé à l'extrême jusqu'à l'isolement de cellules ou de fragments de cellules.

6° Comme les autres corps figurés (spores, cuticules, corps résineux) les lames ligneuses sont nettement stratifiées et sont toujours étalées parallèlement au plan de stratification de la couche de houille qui les contient. Formées primitivement de substance dure elles ont résisté à l'aplatissement et présentent des aspects identiques en *sections verticales* et en *sections horizontales*. Les diversités d'aspect sont dues, au contraire, aux différences d'orientation des coupes par rapport à l'allongement des cellules (Sections transversales ou longitudinales)

## IV

**Origines des Tissus ligneux des houilles**

Si leur détermination en tant que substances ligneuses est relativement facile lorsque l'on a obtenu une bonne préparation de houille, la distinction entre les *tissus vasculaires ligneux* (bois proprement dit) et le *sclérenchyme* est loin d'être toujours possible.

En sections transversales (perpendiculaires à l'allongement des cellules) l'alignement régulier des cellules permet parfois de reconnaître les tissus vasculaires comme c'est le cas pour les figures 146, F (Pl. XXVIII), 153 à 156 (Pl. XXX). Une telle détermination qui peut encore être faite dans le cas de la figure 149 devient douteuse dans celui de la figure 148 (Pl. XXIX) et quasi impossible dans ceux des figures 145, 147 (Pl. XXVIII), 194 à 197 (Pl. XXXVII) pour ne citer que celles-là.

Naturellement, il ne saurait être question de distinguer le bois du sclérenchyme dans le cas de masses ligneuses fortement gélifiées (Fig. 201 et 202, Pl. XXXVIII, Fig. 203 à 207, Pl. XXXIX) ou présentant la structure en étoile (Fig. 157a à 165, Pl. XXXI et XXXII) pas plus que dans celui de menus fragments de tissus ligneux (Fig. 172 à 189, Pl. XXXIV et XXXV).

La distinction entre le bois et le sclérenchyme étant souvent impossible, on comprend facilement, qu'étant donnée l'extrême division des tissus ligneux et l'absence totale de sections d'organes entiers, il ne peut être question de déterminer grâce à l'observation microscopique seule la nature des végétaux et des organes des végétaux dont proviennent les lambeaux de tissus ligneux interstratifiés dans la houille. Ici encore on ne peut qu'émettre des hypothèses concernant l'origine de ces corps figurés.

La plupart des débris déterminables comme tissus vasculaires sont des bois très denses dont les parois cellulaires, fortement épaissies et lignifiées (Fig. 146, Pl. XXVIII, 153 à 156, Pl. XXX), montrent une structure analogue à celle du bois des Conifères actuelles (Pin, Sapin, ...). On peut donc les rapporter logiquement aux *Cordaitées* et aux *Ptéridospermées* qui sont les plantes houillères les plus voisines de ces gymnospermes.

Quant aux masses ligneuses que, dans le doute, l'on doit rapporter au sclérenchyme elles pourraient provenir des zones corticales de certaines Lépidophytes (Lepidodendrons, Sigillaires) qui contenaient de nombreuses fibres sclérifiées. C'est pour cette raison que dans la masse des troncs de ces végétaux fossilisés dans les roches stériles seule l'écorce a été transformée en houille brillante (Xylovitrain), tandis que le cylindre central, contenant un bois peu lignifié et des tissus lâches et lacuneux ayant permis la pénétration rapide des solutions minérales, a été fossilisé par pétrification.

Les masses ligneuses de ce dernier type sont de beaucoup les plus nombreuses ce qui s'explique facilement si l'on admet avec M. P. BERTRAND que les 4/5<sup>me</sup> de la houille du Nord de la France se sont formés par accumulation des débris de Lépidophytes arborescentes.

**Conclusions du Chapitre septième**

De l'étude microscopique des substances ligneuses des houilles examinées on peut tirer les conclusions générales suivantes :

Les tissus ligneux des charbons paléozoïques du Nord de la France et des combustibles similaires d'autres gisements s'observent toujours à l'état de menus débris dont les dimensions sont le plus souvent d'ordre quasi microscopique. Dans aucun cas on ne peut distinguer dans les houilles les sections d'organes entiers que certains auteurs ont cru pouvoir décrire, le plus souvent à la suite de simples examens macroscopiques, de sorte que les affirmations qui tendent à faire admettre que les lits de houille brillante superposés représentent des feutrages de tiges, de branches et de racines sont purement hypothétiques et ne s'appuient sur aucun commencement de preuve.

Les menus fragments de tissus ligneux possédaient dans les accumulations végétales des individualités égales à celles des spores, des cuticules et des corps résineux, leurs faibles dimensions permettant d'attribuer leur mise en place sur les aires de dépôt par le jeu d'agents de transport tels qu'un flottage en eau calme ou une dissémination par les vents.

Comme les autres débris végétaux organisés (spores, cuticules, corps résineux) les débris de bois ou de sclérenchyme sont nettement stratifiés dans les lits élémentaires de houille qui les contiennent.

Tous ces faits d'observation mettent en évidence les différences fondamentales existant entre les tourbes actuelles (feutrages de grands débris végétaux) et les houilles riches en menus débris ligneux et militent, comme nous le verrons plus tard, en faveur de la théorie de la formation par transport des houilles ligno-cellulosiques.

## Conclusions de l'Étude des Débris organisés

Des faits d'observation exposés dans les chapitres précédents et mis en évidence par de nombreuses microphotographies et plus particulièrement par les figures 1 à 207 (Pl. I à LIX) on peut tirer les conclusions suivantes :

1° En ce qui concerne l'étude, la description et la figuration des débris organisés des houilles, la méthode de préparation par simple polissage des surfaces destinées à l'examen microscopique en lumière réfléchie (microscope métallographique) est capable de donner à elle seule des résultats au moins égaux et souvent supérieurs à ceux des autres procédés d'étude microscopique employés jusqu'ici.

Cette méthode que j'ai mise au point avant 1925 [180] permet non seulement de donner de bonnes microphotographies à faibles grossissements, mais encore d'atteindre et même de dépasser utilement des grossissements de 1.000 diamètres.

Dans ces conditions, des débris végétaux mesurant seulement quelques centièmes de millimètre peuvent être observés et déterminés. (Fig. 181, 182, 183, 186, Pl. XXXV, etc...).

On doit donc admettre que pratiquement cette méthode permet de déceler tous les vestiges de substances organisées qui ont gardé leur individualité dans la roche combustible.

2° Tous les corps figurés qui se retrouvent fossilisés dans la houille sont constitués par les tissus les plus résistants des végétaux et par les substances végétales les moins attaquables.

La fossilisation de ces corps organisés a donc été déterminée par les compositions chi-

miques de leur substance, compositions chimiques qui sont elles-mêmes en rapport avec leur rôle physiologique.

La *Cutine* destinée à protéger les spores, les feuilles et les jeunes rameaux est la plus résistante de toutes les substances végétales puisqu'elle a permis la fossilisation des exines d'organismes tels que les microspores dont les dimensions ne dépassent pas quelques centièmes de millimètre.

Les *Résines* sont des substances imputrescibles utilisées couramment dans la pratique des embaumements. Elles ont provoqué la fossilisation des masses protoplasmiques qu'elles imprégnaient et dans certains cas favorables la conservation des parois cellulosiques des cellules des appareils sécréteurs.

La substance désignée vulgairement sous le nom de *bois* qui forme la masse des tissus vasculaires ligneux et du sclérenchyme des végétaux résiste particulièrement bien aux agents oxydants et hydrolisants.

Tous les autres tissus végétaux et, en particulier, les *tissus cellulosiques* ne se retrouvent qu'accidentellement (cas des membranes cellulosiques des appareils sécréteurs) dans la houille du moins à l'état organisé. Comme nous le verrons dans le chapitre suivant, il y a tout lieu de croire que la cellulose ou les produits d'altération ou de transformation qui en dérivent ont joué avec d'autres substances végétales (hydrates de carbone, albuminoïdes, etc...) un rôle important dans la formation de la pâte de la houille.

Ces observations mettent en évidence l'action sélective dans les eaux de la lagune houillère d'agents de destruction (agents chimiques ou bio-chimiques) qui ont provoqué la transformation de certains tissus (t. cellulosiques) tout en respectant les autres (t. ligneux, substances cutinisées, substances résineuses).

3° Les tissus ligneux se rencontrent toujours dans la houille à l'état de menus fragments, caractère qui implique le morcellement préalable des végétaux et même des organes des végétaux (branches, tiges, racines).

Dans ces conditions, tous les corps organisés que l'on rencontre dans les houilles (menus fragments de bois, feuilles ou débris de feuilles, spores) présentent des caractères tels (légèreté, grande flottabilité...) qu'ils ont pu être transportés au loin par flottage dans des eaux calmes ou même être dispersés par des vents peu violents.

Comme nous le verrons plus tard, cette conclusion a une grande importance au point de vue de la genèse des houilles.

4° Le morcellement constant des tissus ligneux indique que la houille est une roche formée de menus débris végétaux et vient infirmer, au moins en ce qui concerne les houilles du Nord de la France et toutes celles que j'ai étudiées jusqu'ici, la théorie émise antérieurement « que la houille brillante s'est formée par accumulation des grandes branches et des troncs des arbres ou de parties de ces derniers qui n'ont pas été détruits dans les marais tourbeux avant la formation du charbon » (1).

(1) Voir R. THIESSEN [639] qui dit notamment dans ses conclusions (p. 205) The « bright » coal was formed from the large limbs and trunks of trees or parts of them which were not desintegrated in the peat swamps previous to the formation of the Coal.

Le fait que les branches et les troncs des végétaux étaient déjà morcelés à l'état de menus débris avant leur mise en place sur les aires de dépôt milite en faveur de la théorie de la formation de la houille par transport, en eau calme ou par les vents, de ses éléments constitutifs et vient donc confirmer les idées que j'ai émises antérieurement sur la genèse de cette roche combustible.

5° Le morcellement des tissus ligneux et l'absence de sections d'organes entiers ne permettent pas la détermination des parties de végétaux, et à plus forte raison des espèces végétales dont ils dérivent. Seules des hypothèses plus ou moins probantes peuvent être émises à ce sujet.

C'est pour cette raison que, contrairement à ce qui a été fait maintes fois antérieurement, je me suis abstenu de donner des déterminations précises de tissus ligneux.

Dans la quasi impossibilité où l'on se trouve d'appliquer à la détermination des tissus ligneux des houilles la seule méthode de détermination scientifique qui consiste à examiner simultanément des coupes transversales, radiales et tangentielles d'un même fragment de bois, il m'a semblé préférable d'éviter d'émettre des affirmations qui n'auraient eu que la valeur de simples hypothèses.

6° Bien que mes préparations m'aient permis de décrire et surtout de figurer les spores (en particulier les microspores) avec une grande finesse de détail, j'ai gardé une réserve identique en ce qui concerne ces organites que l'on a cru pouvoir utiliser parfois pour caractériser certaines veines de houille. J'ai pu montrer que des spores analogues existaient dans des veines de houille d'âges très différents et que dans ces conditions il est impossible de distinguer les veines successives du Nord de la France à l'aide de ces organismes microscopiques.

En résumé, l'étude microscopique des corps figurés permet de mettre en évidence les rôles joués par les différentes substances végétales des plantes houillères dans la genèse des charbons et démontre que toutes les houilles examinées sont des roches formées de menus débris ayant subi un transport d'une certaine amplitude.

## SECTION II

LES SUBSTANCES ORGANIQUES  
AMORPHES DES HOUILLES

Un caractère essentiel et commun à tous les charbons que j'ai pu étudier jusqu'ici [180 à 213<sup>ter</sup>] est celui de contenir une *pâte colloïdale amorphe* enrobant tous les débris végétaux à structure conservée et constituant leur ciment.

Ce sont ces substances amorphes que, désireux de conserver une terminologie employée depuis longtemps par les auteurs français, j'ai désignées précédemment par le terme *substance fondamentale* et auxquelles j'attribuerai, désormais, les noms de *ciment* ou de *pâte*, aucune raison valable ne s'opposant plus à l'application aux houilles de la terminologie employée dans l'étude des autres roches sédimentaires <sup>(1)</sup>.

## CHAPITRE HUITIÈME

## Les ciments organiques des Houilles

## SOMMAIRE

- I. — CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES CIMENTS OU PÂTES DES HOUILLES.
  - II. — MODE DE GISEMENT DES PÂTES DES HOUILLES. — A. — *Pâte des lits riches en débris végétaux*. — B. — *Pâte des lits riches en ciment amorphe*. — C. — *Lits de pâte pure*. — D. — *Remplissage par la pâte des cavités cellulaires*.
  - III. — EXISTENCE DE LA PÂTE ORGANIQUE DES HOUILLES DANS CERTAINES ROCHES STÉRILES. — A. — *Pâte des houilles cendreuses*. — B. — *Pâte des schistes charbonneux et bitumineux*. — C. — *Pâte de certains lits carbonatés*.
  - IV. — ORIGINE DES PÂTES DES HOUILLES.
- CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE DES CIMENTS OU PÂTES DES HOUILLES.

Les microphotographies figurant sur les 66 planches phototypiques de ce mémoire constituent autant de documents (plus de 330) qui viennent démontrer l'existence des *substances amorphes* ou *pâte* des houilles et confirmer les résultats de mes recherches antérieures. Ces docu-

(1). Le terme presque uniquement employé pour désigner le liant des roches sédimentaires consolidées est celui de *ciment*. En raison de la nature très particulière des ciments organiques des houilles et de leur mode de formation il m'a paru impossible de ne pas les désigner également par le mot *pâte* qui définit très exactement leurs caractères généraux et leur genèse par précipitation à l'état de gels colloïdaux plastiques. Dans ce mémoire les termes *ciments*, *pâtes* et *substances amorphes* seront utilisés dans des sens rigoureusement synonymes.

ments permettent même de généraliser ces résultats, certains d'entre eux (Fig. 280 à 289, [Pl. LIX et LX], 299 à 303 [Pl. LXIII].) montrant que la pâte colloïdale des houilles existe dans certaines roches stériles (schistes charbonneux ou bitumineux à ciment organique) ou mixtes (charbons cendreux), tandis que d'autres (Fig. 290 à 298 [Pl. LXI et LXII]) viennent apporter un argument de plus en faveur de la genèse par voie de précipitation chimique de ce ciment amorphe d'origine organique.

L'examen de toutes les figures des planches (Fig. 1 à 309 et 324), où la pâte est indiquée par la lettre P, permet de se rendre compte de la constance de ce constituant macroscopique des houilles et de sa présence dans certaines roches stériles. Les substances amorphes occupent dans les houilles et dans certains schistes tous les espaces compris entre les débris végétaux ou les particules d'argile, elles jouent, par conséquent, dans tous les cas un rôle identique aux liants des roches sédimentaires et doivent être désignées par les termes « ciment » ou « pâte » que j'utiliserai désormais comme synonyme de substances amorphes et de substance fondamentale. J'abandonnerai dorénavant l'usage de ce dernier terme qui est moins général et prête à équivoque.

## I

### Caractères généraux des ciments ou pâtes organiques des houilles

Les substances amorphes qui cimentent les débris organiques des houilles présentent des caractères *physiques constants* qui semblent être totalement indépendants de leur composition chimique, la pâte d'une houille à haute teneur en matières volatiles étant rigoureusement identique, quant à l'aspect, à celle d'une houille à teneur moyenne ou faible en matières volatiles. Comme nous le verrons plus loin cette identité d'aspect s'explique facilement par le fait que malgré des différences de composition élémentaire toutes dérivent d'un même phénomène physico-chimique et, selon toute vraisemblance, ont été primitivement des gels provenant de la coagulation de substances organiques en solution ou en pseudo-solution dans l'eau de la lagune houillère.

En surfaces polies, examinées au microscope métallographique, les pâtes des houilles présentent les caractères suivants :

#### 1° — Caractère amorphe

*Elles sont amorphes en ce sens que si l'on fait abstraction des débris végétaux organisés qu'elles enrobent, mais qui ne font pas partie de leur masse, on ne peut y distinguer même aux plus forts grossissements microscopiques (1.000 et 2.000 diamètres) aucune trace de structure organisée* (1)

Ce caractère amorphe des pâtes des houilles peut être observé sur la plupart des figures qui accompagnent ce mémoire (Figures 1 à 303, Planches I à LXIII) dont presque toutes montrent des développements plus ou moins importants de ce constituant microscopique des houilles signalé le plus souvent par la lettre P (pâte) et plus rarement par la lettre H (Houille brillante=

(1). Ce même caractère (absence de structure organisée) s'observe également en lames minces où la pâte des houilles apparaît sous la forme d'une substance amorphe, transparente, dont la teinte varie suivant l'épaisseur et passe du jaune à l'orangé.



Vitrain). Visible sur les macrophotographies à faibles grossissements (7,5 à 16 diamètres) (Figures 208, 210, 212, 214 à 227, 254 à 259, 266 et 267 ; Pl. XL à XLVII, LI à LIII et LVI) ce caractère s'observe mieux sur les figures à grossissements moyens (le plus souvent 55 diamètres) qui sont trop nombreuses pour pouvoir être citées ici <sup>(1)</sup> et est surtout mis en évidence par certaines figures à assez forts grossissements *qui révèlent que les plus petits vestiges de substances à structure organisée peuvent être discernés de la substance amorphe de la pâte qui les enrobe*. J'insisterai donc ici sur les faits mis en lumière par un certain nombre d'entre elles.

Les figures 15 (Pl. IV), 51, 52 (Pl. X) et 53 (Pl. XI) montrent qu'à des grossissements forts (250 diamètres) des débris végétaux aussi ténus que des *microspores* se distinguent parfaitement de la pâte homogène et amorphe. Les figures 16, 17, (Pl. IV) 54 à 57 (Pl. XI) prouvent qu'à de très forts grossissements (1.020 diamètres) ces mêmes caractères (homogénéité et absence de structure) s'observent encore dans la dite pâte P, tandis que les formes des microspores et même des menus débris de microspores sont nettement visibles.

Les figures 83 à 86 (Pl. XVI), 90 et 91 (Pl. XVII) permettent de se rendre compte qu'à des grossissements variant entre 250 et 1.020 diamètres les *cuticules* des feuilles et parfois leurs axes ligneux (nervures) sont comme les plus petits débris de cuticules nettement discernables dans la masse amorphe de la pâte.

Les *tissus ligneux* eux-mêmes, ayant pourtant tendance à se transformer en masses amorphes, se distinguent très bien à cet état de la pâte de la houille. La figure 152 (Pl. XXIX,  $\times 780$ ) montre qu'il existe une ligne de démarcation nette entre la pâte P et la lame ligneuse T1 à parois fortement gélifiées. La figure 160 (Pl. XXXI,  $\times 780$ ) met en évidence les mêmes caractères pour un fragment de bois à la fois gélifié et désarticulé. Enfin, les figures 172 à 189 (Pl. XXXIV et XXXV) ont été spécialement groupées pour prouver qu'à de très forts grossissements (440, 780 et 1.020 diamètres) de même qu'à des grossissements moyens (55 et 250 diamètres) *des menus fragments de bois, dont certains représentent des cellules isolées* <sup>(2)</sup> ou même des fragments de cellules, *peuvent être parfaitement distingués et ont gardé leur individualité propre dans la masse amorphe de la pâte de la houille*.

Enfin, des *Corps résineux* unicellulaires (Fig. 118, 119 (Pl. XXIII), 124 et 125 (Pl. XXIV), 134 à 136 et 137 (Pl. XXVI) ou fortement altérés (Fig. 107, Pl. XX) peuvent encore être discernés dans la pâte de la houille.

Si j'ai insisté sur les faits d'observation précédents et sur les preuves que constituent les microphotographies citées, c'est que de leur ensemble se dégage la conclusion *que par la méthode d'investigation microscopique que j'ai préconisée* les plus petits débris végétaux organisés que l'on puisse imaginer (*débris de cellules ligneuses, de cuticules ou de microspores et contenus cellulaires fossilisés*) peuvent être observés et déterminés.

*A contrario, on peut donc conclure que si dans les mêmes conditions la pâte de la houille ne montre aucune trace de structure organisée* c'est qu'elle possède bien réellement le caractère amorphe des *substances colloïdales typiques (empois d'amidon, ou précipité d'acide humique)*.

(1). A titre d'indication je citerai ici comme particulièrement typiques à ce sujet les figures 8, 9, (Pl. II) ; 18 à 23 (Pl. V) ; 24 à 27 (Pl. VI) ; 45 à 48, (Pl. IX) pour les charbons de spores ; les figures 58 à 67 (Pl. XII) ; 77 à 81, (Pl. XV), pour les charbons de cuticules ; les figures 139 à 143 (Pl. XXVII) ; 144 à 147 (Pl. XXVIII) ; 148 et 149 (Pl. XXIX) ; 194 et 195 (Pl. XXXVII) pour les charbons ligno-cellulosiques.

(2). Voir aussi à ce sujet les figures 170, 171, (Pl. XXXIII), 190 et 191 (Pl. XXXVI).

## 2° — Teinte spécifique

*Les pâtes des houilles présentent en lumière réfléchie des teintes grises qu'il est difficile de définir en elles-mêmes, mais que l'on peut facilement situer dans la gamme des teintes des corps figurés à structure organisée.*

Les pâtes des houilles sont caractérisées par *des teintes grises plus claires que celles des spores* (Pl. I à XI notamment figures 15 à 17, Pl. IV ; 51, 52, Pl. X ; 53 à 57, Pl. XI) *ou des cuticules* (Pl. XII à XVIII et surtout figures 83 à 86, Pl. XVI), *et plus foncées que celles des tissus ligneux (bois, sclérenchyme)*. (Pl. XXVII à XXXIX principalement les figures 173 à 186, Pl. XXXIV et XXXV ; 203 à 207 Pl. XXXIX).

Les *corps résineux* offrent le plus souvent des teintes grises très voisines de celles des pâtes des houilles (Pl. XIX à XXVI) dont ils se distinguent néanmoins lorsqu'ils sont isolés par un relief plus accusé et des contours très nets (figures 102 à 106, Pl. XX ; 118, 119 Pl. XXIII ; 124, 125, Pl. XXIV ; 134, 136 et 137, Pl. XXVI).

Enfin, en surfaces polies les pâtes des houilles montrent des teintes grises plus claires que les particules d'argile (Pl. LIX, LX et LXIII) ou que les concrétions carbonatées qu'elles renferment parfois (Pl. LXI à LXIII).

## 3° — Absence de relief

*Les pâtes des houilles présentent des duretés moindres que les débris végétaux organisés ou que les minéraux qu'elles renferment ; caractère qui constitue le principe même de la préparation des surfaces simplement polies de houilles destinées à l'examen métallographique.*

Il résulte de là que les spores, les cuticules, les tissus ligneux et les corps résineux offrent comme les concrétions carbonatées un certain relief qui permet de les distinguer aisément même lorsque leur coloration grise est extrêmement voisine de celle de la pâte amorphe qui les enrobe. Ce caractère est bien mis en relief en ce qui concerne ces différents corps figurés par les microphotographies, 102-107 (Pl. XX), 118-119 (Pl. XXIII) 124-125 (Pl. XXIV) ; 134-137 (Pl. XXVI) ; 151-152 (Pl. XXIX) ; 172 et 174 (Pl. XXXIV) 296 *a* et 296 *b* (Pl. LXII) etc...

Les pâtes des houilles s'usent donc plus vite au cours des opérations de polissage, de sorte que les débris organisés accusent, par rapport à elles, un certain relief facilement observable.

## 4° — Présence fréquente de vides de retrait

*Les pâtes des houilles sont compactes lorsqu'elles se présentent en lits ou en masses assez faibles, divisées, au contraire, par des fentes ou des vides de retrait importants dans le cas de lits épais ou de masses plus grandes.*

Lorsque la pâte ou substance fondamentale ne forme que des lits assez minces (Fig. 216, Pl. XLII) ou des plages assez réduites, (Fig. 208 et 210, Pl. XL) elle offre généralement une structure massive bien visible sur les figures 1, 3, 4 (Pl. I), 8-9 (Pl. II), 11 (Pl. III), 22-23 (Pl. V), 26-27 (Pl. VI) etc...

Quand, au contraire, elle forme à elle seule toute la masse de certains lits (houille brillante — Vitrain) que nous étudierons en détail dans un chapitre spécial (Fig. 212, Pl. XL ; 259, Pl. LIII

266 à 270, (Pl. LVI) les vides de retrait deviennent très nombreux et affectent le plus souvent l'allure de fentes verticales. Dans les lits où la pâte prédomine nettement et où les débris végétaux sont par conséquent peu nombreux (houille semi-brillante = Clarain) ces vides de retrait apparaissent également (Fig. 272 à 275, Pl. LVII).

Comme nous le verrons un peu plus loin, l'existence de ces vides de retrait à allure très caractéristique, et dont certains contiennent des remplissages de minéraux secondaires (Fig. 276 à 279, Pl. LVIII) qui attestent leur ancienneté, est un argument en faveur de la nature colloïdale de la pâte des houilles.

### 5<sup>o</sup> — Éclat vif

Au point de vue *macroscopique* mes observations *microscopiques* ont montré que c'est à l'abondance ou à la présence exclusive de la pâte ou substance amorphe, que les *houilles semi-brillantes* (Clarains) et les *houilles brillantes* (Vit rains) *doivent leurs éclats particuliers*. En règle générale l'éclat d'une houille ou d'un lit de houille est inversement proportionnel à la masse de débris végétaux organisés et directement proportionnel à la masse de pâte en présence. Cet éclat nul ou faible dans les houilles mates (Durains), très riche en corps figurés et principalement en spores et en cuticules, mais par contre très pauvre en pâte, est plus ou moins vif dans les houilles semi-brillantes (Clarains) riches en pâte et atteint son maximum dans les houilles brillantes (Vit rains) constituées uniquement de substances amorphes et ne contenant qu'exceptionnellement des débris végétaux très peu abondants.

En dernière analyse, c'est donc la quantité de pâte en présence qui détermine en règle générale l'éclat faible, moyen ou vif d'une houille donnée.

*En résumé, bien que dépourvues de toute structure propre les pâtes des houilles présentent un certain nombre de caractères qui permettent de les considérer comme des constituants microscopiques nettement définis des charbons.*

## II

### Mode de gisement des ciments ou pâtes des houilles

La pâte des houilles s'est individualisée par coagulation de substances organiques en solution ou en pseudo-solution dans les eaux de la lagune où s'accumulaient les débris végétaux, des concentrations successives séparées par des espaces de temps plus ou moins longs permettant, à certains moments, le dépôt de lits, généralement assez minces, d'une substance colloïdale prenant d'abord la consistance d'un gel.

Cette coagulation pouvait se produire dans des conditions fort diverses suivant que la lame d'eau en contact avec le fond, sur lequel prenaient naissance les couches de ciment amorphe, tenait ou non en suspension des débris végétaux. Dans le cas où cette lame d'eau contenait des spores, des cuticules, des corps résineux ou des fragments de bois, le ciment organique a occupé tous les espaces restés libres entre les corps figurés en moulant exactement leurs surfaces et en pénétrant même dans certaines cavités. Au contraire, lorsque cette lame d'eau ne renfermait

aucun vestige organisé, la pâte amorphe colloïdale formait toute la masse de lits généralement minces (rarement plus de quelques millimètres), mais assez étendus ; lits de houille brillante à éclat très vif que FAYOL avait décrit sous le nom de « houille claire » et que M<sup>me</sup> STOPES a proposé depuis de distinguer sous le nom de « Vitrain » <sup>(1)</sup>.

Le gisement ou mode de distribution de la pâte de la houille était donc déterminé par la présence ou l'absence, dans l'eau où elle prenait naissance, des corps figurés des houilles que nous avons étudiés précédemment ; circonstances que nous verrons présider à la formation des constituants macroscopiques des charbons connus sous les noms de « houille brillante » (Vitrain), de houille semi-brillante (Clarain) et de « houille mate » (Durain). L'étude de la pâte des houilles et celle des constituants macroscopiques des charbons sont donc deux questions connexes empiétant l'une sur l'autre et se complétant mutuellement. Néanmoins, comme les accumulations ou les lits très minces de pâte sont beaucoup plus fréquents à l'état de constituants microscopiques des houilles semi-brillantes et mates qu'à l'état de houilles brillantes <sup>(2)</sup> et que, d'autre part, l'étude microscopique présente toujours un intérêt qui dépasse considérablement l'examen à l'œil nu (étude macroscopique), je me trouve naturellement amené à décrire, ici, le mode de distribution des substances amorphes qui cimentent les débris végétaux organisés des houilles, ce qui revient à étudier la distribution des corps figurés dans la masse même de ces houilles.

Je décrirai successivement les manières d'être de la pâte amorphe, colloïdale, dans les lits de houille riches en débris végétaux, pauvres ou complètement dépourvus de ces mêmes débris, et enfin le remplissage de certaines cavités des fragments végétaux telles que les lumières des macrospores et des cellules ligneuses.

### A. — Ciment des lits de houille riches en débris végétaux

Suivant la nature des nombreux débris végétaux qu'ils contiennent ces lits appartiennent à l'un des constituants macroscopiques que M<sup>me</sup> STOPES a désignés par les termes « Durain » et « Clarain » et que FAYOL avait distingué dès 1886 sous les noms de « houille grenue » et de « houille moyenne ou feuilletée ». Lorsque les débris végétaux très nombreux ne sont pratiquement représentés que par des spores ou des cuticules, ces lits à éclat faible ou même dépourvus de tout lustre sont à l'état de « houilles mates » ou « Durains » et n'existent guère dans le nord de la France que dans les houilles à hautes teneurs en matières volatiles. (h. flambantes, h. à gaz et h. maréchales) correspondant, approximativement, aux « bituminous coals » des pays de langues anglo-saxonnes <sup>(3)</sup>. Lorsque, au contraire, ces débris végétaux abondants sont constitués par des tissus ligneux gélifiés, comme cela est assez fréquent dans certaines houilles à coke telles que celle représentée par la figure 225 (Pl. XLVI) et plus rarement dans certains lits de

(1). Je n'insisterai pas ici sur le mécanisme de la formation des lits constitués par des mélanges, en proportions diverses, de fragments de végétaux et de pâte amorphe, colloïdale ; ce mécanisme devant être étudié en détail dans le chapitre relatif aux constituants macroscopiques des houilles.

(2). Ceci est surtout vrai pour les houilles proprement dites (h. flambantes, h. à gaz, h. maréchales et h. à coke), la houille brillante (Vitrain) dominant par contre dans la plupart de nos houilles maigres (h. anthraciteuses et anthracites).

(3). De bons types de ces houilles mates (Durain) sont représentés à faibles grossissements par les figures 208, 210, (Pl. XI), 214, 215 (Pl. XLI), 216 (Pl. XLII) ; 222, 223 (Pl. XLV) et à grossissements plus forts par des figures surtout nombreuses parmi les planches I à XXIV.

houilles plus riches en matières volatiles (Fig. 217, Pl. XLII), l'ensemble possède alors un certain éclat et constitue une « *houille semi-brillante* » ou « *Clarain* ».

Aux constituants précédents il convient d'ajouter certains lits de *houille mate fibreuse* formés par un empilement de fragments de Fusain séparés parfois par de minces filets de pâtes et certaines *bandes ternes*, à éclat presque nul, rappelant à s'y méprendre l'aspect des houilles mates typiques, mais formées, en réalité, par l'association de pâte et de particules argileuses (Fig. 282 à 289, Pl. LIX et LX) et contenant parfois des débris végétaux reconnaissables (Fig. 280 et 281, Pl. LIX).

C'est dans les *houilles mates* compactes et typiques (Durain de Stopes) que la pâte des houilles peut être observée le plus facilement, son caractère amorphe contrastant vivement avec les contours particulièrement nets des spores et des cuticules parfaitement fossilisées et sa teinte d'un gris très clair se distinguant très bien de la coloration gris plus foncé des substances cutinées. Dans ces houilles à éclat terne, représentées à faibles grossissements sur les planches XL à XLII et à grossissements moyens et forts sur un grand nombre de figures des planches I à XXIV, la pâte amorphe colloïdale occupe tous les espaces compris entre les corps figurés. Ces derniers étant extrêmement nombreux le ciment très réduit *forme une fine trame brillante* moulant exactement les contours les plus délicats. Cette trame est bien visible en sections horizontales sur les figures 2 (Pl. I), 5, 6, 7 (Pl. II), 10 à 12 (Pl. III) etc... et en sections verticales sur les figures 18 à 23 (Pl. V) dans les parties marquées Hm, 24 à 27 (Pl. VI) dans certaines régions où les spores sont très nombreuses ainsi que sur les figures 45 à 48 (Pl. IX), 98, 100 et 101 (Pl. XIX) etc... dans les lits de microspores.

Cette trame qui paraît très ténue au grossissement des dites figures (55 diamètres) est mieux observable à plus forts grossissements où le caractère amorphe de la pâte est aussi plus net. Les figures 15 à 17 (Pl. IV) en sections horizontales, 51, 52 (Pl. X), 53 à 57 (Pl. XI) etc... en sections verticales, où le grossissement est plus considérable, montrent mieux les rapports respectifs des corps figurés et de leur ciment.

Comme on peut s'en rendre compte par l'examen des microphotographies qui accompagnent ce mémoire, et surtout par celles qui figurent sur les planches I à XI où les lits très riches en débris organisés sont fréquemment représentés, la distribution des spores et éventuellement des cuticules, des corps résineux et des débris de tissus ligneux, est loin de réaliser une régularité parfaite, de sorte que les vides qui les séparent varient en importance et en formes. C'est pour cette raison que l'on peut observer des *amas ou plages de pâte* parfois irréguliers en sections horizontales aussi bien qu'en sections verticales où leurs dimensions sont toujours réduites, comme ceux des figures 1, 3 (Pl. I), 11 (Pl. III), 18, 21 (Pl. V, parties marquées P<sub>1</sub>), des *lits plus réguliers* d'une certaine étendue, mais dont les limites en sections horizontales sont toujours capricieuses (Fig. 4, Pl. I, 8-9, Pl. II), tandis qu'en sections verticales ils affectent l'allure de bandes continues très minces (Fig. 22, P<sub>2</sub>, Pl. V) ou plus épaisses (Fig. 21, P<sub>2</sub>, Hb, Pl. V ; 24, 27, Pl. VI ; 45, Pl. IX) et enfin des *lits relativement épais* (Fig. 45 à 48, Pl. IX). Ce sont ces plages, ces amas et ces lits de pâte pure qui apparaissent à l'œil nu sous formes de filets brillants dont l'éclat contraste avec l'aspect terne de la houille mate encaissante. Lorsque ces plages sont très rapprochées (Fig. 13, Pl. III) ou que ces lits se superposent à faibles distances (Fig. 20, 22, 23, Pl. V, 26, Pl. VI) les masses qui les renferment présentent un certain éclat et passent aux houilles semi-brillantes (Clarains), tandis que lorsque ces mêmes lits acquièrent une cer-

taine épaisseur (un millimètre et plus) (Fig. 18, 19, Hb, Pl. V) ils donnent naissance à un constituant macroscopique à éclat très vif, la houille brillante (Vitrain).

Dans les cas beaucoup plus rares où l'on peut observer des accumulations très denses de tissus ligneux (Fig. 225, Pl. XLVI), la pâte présente exactement les mêmes caractères que dans les houilles riches en spores et forme une trame moulant exactement les débris de bois ou de sclérenchyme les plus ténus occupant tous les espaces compris entre les corps figurés (Fig. 140, Pl. XXVII) ; elle existe aussi à l'état de lits plus ou moins réguliers (Fig. 194, Pl. XXXVII).

Dans les lits de houille mate fibreuse formés par l'empilement de lames ou fragments de Fusain la pâte de la houille peut encore s'observer sous forme de lits très minces parfois visibles à l'œil nu sous l'aspect de filets brillants. Le lit de houille mate fibreuse qui occupe la partie supérieure de la figure 145 (Pl. XXVIII) montre nettement la superposition des lames de Fusain (F, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub>) et l'interposition des minces lits de pâte pure.

Enfin, dans certains charbons riches en particules argileuses et dans certains schistes charbonneux la pâte amorphe colloïdale qui cimente les débris végétaux organisés des houilles présente exactement les mêmes dispositions que dans ces dernières et apparaît sous forme d'une trame très fine, de plages irrégulières ou de lits plus ou moins continus. Cette pâte est nettement visible sur les figures 280 à 289 (Pl. LIX et LX) et 299 à 303 (Pl. LXIII) dont certaines montrent d'une façon particulièrement nette l'allure lenticulaire des lits de substance amorphe.

Dans tous ces modes de gisement (trame plus ou moins fine, plages ou amas irréguliers, lits ou filets assez étendus, mais très minces) *la pâte des houilles est en général compacte et dépourvue de vides.*

### B. — Ciment des lits de houille riches en substances amorphes

Ces lits sont caractérisés par la présence, en assez grandes quantités, de débris végétaux reconnaissables (spores, cuticules, corps résineux, tissus ligneux) enrobés dans une pâte abondante. Doués d'un éclat assez vif ils constituent les *houilles semi-brillantes* ou *Clarains* que l'on peut rencontrer assez fréquemment dans n'importe quelle variété de charbon paléozoïque.

Dans les houilles semi-brillantes comme dans les houilles mates, la pâte occupe tous les espaces compris entre les débris végétaux et moule exactement les contours de ces derniers. Sa distribution peut se déduire facilement de celle que l'on observe dans les houilles mates en exagérant le rôle de la pâte et en diminuant celui des corps organisés.

Si l'on suppose que dans un lit de houille mate riche en spores, tels que ceux représentés par les figures 10 à 12 (Pl. III) en section horizontale, ces débris organiques deviennent moins abondants, ce qui entraîne forcément une augmentation de volume des espaces qui les séparent, on obtient une association où domine nettement la pâte amorphe colloïdale et dont la figure 13 (Pl. III) fournit un excellent type. En sections verticales de tels lits prennent un aspect particulier bien visible sur les figures 20, 21 (Pl. V), 28, 29 (Pl. VII), 38, 39, 43, 44 (Pl. VIII) où l'on peut observer nettement la stratification des spores dans une pâte abondante.

Les houilles de cuticules présentent fréquemment de telles dispositions, les parois cutinisées des feuilles étalées parallèlement au plan de stratification étant généralement cimentées et enrobées dans une pâte abondante. Les figures 58 à 65 (Pl. XII), 68 à 72 (Pl. XIII), 77 à 81 (Pl. XV),

87 à 89 (Pl. XVII) montrent bien la distribution irrégulière du ciment amorphe entre les vestiges organisés.

Dans les lits de houille riches en débris de bois ou de sclérenchyme bien conservés ou gélifiés la pâte offre fréquemment une distribution analogue et occupe tous les espaces polymorphes qui séparent les masses lenticulaires de tissus ligneux régulièrement stratifiées. En ce qui concerne les houilles contenant des tissus ligneux bien conservés cette distribution du ciment amorphe est bien visible sur les figures 139 à 143 (Pl. XXVII) et 144 à 146 (Pl. XXVIII), tandis que pour les charbons à tissus ligneux altérés les figures 229 à 238 (Pl. XLVIII) montrent qu'elle s'observe également dans ce cas particulier.

Enfin, dans certains cas les minces lits de pâte pure que nous avons rencontrés dans les houilles mates peuvent devenir plus nombreux et se superposer. Il en résulte un complexe formé par des alternances de lits mats et brillants dont la figure 216 (Pl. XLII) donne une juste idée et dont l'ensemble produit la même impression que celle des lits précédents. Ces houilles semi brillantes particulières où la pâte forme de minces filets, qui ne se distinguent des lits de houilles brillantes (Vitrain) que par leurs dimensions <sup>(1)</sup>, peuvent être observées à plus fort grossissement ( $\times 55$ ) sur les figures 26 (Pl. VI), 67 (Pl. XII), 76 (Pl. XIV), 82 (Pl. XVI), 145 (Pl. XXVIII), 194 (Pl. XXXVII), etc.

Lorsque dans de tels lits les débris végétaux se raréfient et que la pâte qui les enrobe tend à devenir nettement prépondérante, l'aspect macroscopique se rapproche de celui des houilles brillantes (Vitains) (Fig. 63, 65 Pl. XII) auxquelles ces lits passent latéralement (Fig. 45 à 48, Pl. IX).

Dans tous ces modes de gisement cette pâte abondante et souvent prédominante moule exactement les contours parfois sinueux des corps figurés qu'elle enrobe, caractère bien visible sur les microphotographies à grossissements moyens ou forts telles que celles que représentent les figures 14 (Pl. IV), 83 à 86 (Pl. XVI), 90-91 (Pl. XVII), 134 à 137 (Pl. XXVI), 151-152 (Pl. XXIX), 172 à 186 (Pl. XXXIV et XXXV), 203 à 207 (Pl. XXXIX), etc...

Dans ces masses de pâte plus importantes *apparaissent fréquemment des fentes de retrait*, le plus souvent verticales, pouvant affecter la forme de fines stries perpendiculaires au plan de stratification (Fig. 20, f, Pl. V) et plus souvent de vides plus ou moins réguliers surtout fréquents dans les houilles ligno-cellulosiques (Fig. 224, Pl. XLVI, 231, 233 à 235, 237, 238, Pl. XLVIII), etc...

### C. — Lits de ciment pur ou houille amorphe

Dans certains cas, en l'absence de tout débris organisé, la pâte amorphe colloïdale des houilles forme à elle seule des lits assez épais pour être distingués à l'œil nu. Ces lits dont l'épaisseur ne dépasse guère quelques millimètres sont doués d'un éclat très vif et constituent la *houille brillante* ou *Vitain* de M<sup>me</sup> STOPES. Ces lits présentent exactement les mêmes caractères que les filets de houille amorphe ou pâte que l'on peut observer dans les houilles mates (Durains) ou semi-brillantes (Clarains) dont ils ne peuvent être distingués que par leur épaisseur, cette épaisseur étant de l'ordre du millimètre ou de quelques millimètres, tandis que pour les filets de houille brillante elle est de quelques dixièmes ou de quelques centièmes de millimètre.

(1). J'ai nommé de la même façon dans mes descriptions microscopiques et dans mes descriptions macroscopiques les minces filets et les lits plus épais (quelques millimètres) de houille amorphe ou pâte par le même terme *houille brillante* synonyme de Vitrain) et par le même symbole *Hb* remplacé parfois par *P* (pâte).

Morphologiquement les lits et filets de houille brillante sont identiques et reliés, du reste, par tous les intermédiaires, de sorte qu'il paraît impossible de faire une distinction entre eux.

*Les lits de pâte pure ou de houille amorphe peuvent donc être considérés tantôt comme des constituants macroscopiques et tantôt comme des constituants microscopiques des houilles, sans qu'il soit possible d'établir entre ces deux manières d'être une ligne de démarcation nette puisque l'épaisseur des lits varie de façon insensible. C'est pour cette raison que j'ai jugé inutile d'employer deux termes différents pour les nommer et que je les désignerai désormais les uns et les autres par le terme *houille brillante*, synonyme de « Vitrain », plus anciennement employé que ce dernier.*

De tels lits de houille amorphe le plus souvent désignés par le symbole Hb (Houille brillante) et plus rarement par P (pâte) sont bien visibles à faibles grossissements ( $\times 7,5$  à 16) sur les figures 212 (Pl. XL), 216 (Pl. XLII), 218 (Pl. XLIII), 221 (Pl. XLIV), 222, 223 (Pl. XLV), 224 (Pl. XLVI), 226, 227 (Pl. XLVII), 266, 267 (Pl. LVI) etc... A plus fort grossissement ( $\times 55$ ) on peut notamment les observer sur les figures 18, 19 (Pl. V), 45 à 48 (Pl. IX), 123 (Pl. XXIV), 145, 147 (Pl. XXVIII), 249, 251, 253 (Pl. L), 268 à 271 (Pl. LVI) 285 (Pl. LIX), 299 à 303 (Pl. LXIII) etc..

En règle générale, le *meilleur critérium qui permet de caractériser au microscope la houille brillante* ou Vitrain est l'absence totale de structure et de tout débris organisé. Néanmoins, ce critérium n'est pas absolu comme le voulait M<sup>me</sup> STOPES car des lits contenant quelques spores (Fig. 21, Pl. V ; Fig. 48, Pl. IX), d'assez rares cuticules (Fig. 65, Pl. XII), des corps résineux (Fig. 124, 125, Pl. XXIV) ou des tissus ligneux très gélifiés (Fig. 203 à 207, Pl. XXXIX ; 229, 234, 236, Pl. XLVIII) parfois très altérés (Fig. 239 à 244, Pl. XLIX) ne peuvent être distingués sur les échantillons de houille brute des lits de pâte absolument pure. En tant que constituants macroscopiques ils ne sauraient donc en être séparés, leur aspect et en particulier leur éclat étant rigoureusement identiques.

Comme on peut s'en rendre compte en examinant les figures citées, les lits de houille brillante contiennent presque toujours des vides de retrait de formes très diverses affectant, le plus souvent, l'allure des fentes verticales, perpendiculaires au plan de stratification des lits en question. Les figures 266 à 275 (Pl. LVI et LVII) montrent divers types de ces vides de retrait qui peuvent être parfois comblés par une substance de remplissage telle que le Carbonate de fer (Fig. 276 à 279, Pl. LVIII).

#### D. — Remplissage par le ciment de certaines cavités des débris végétaux

La pâte, des houilles ne se rencontre pas seulement sous forme de ciment enrobant les débris végétaux, mais encore à l'état de remplissage des cavités de certains d'entre eux. C'est ainsi qu'elle peut s'observer à l'intérieur des spores, des cuticules et des cellules des tissus ligneux gélifiés ou non.

##### a — REMPLISSAGE DES SPORES.

J'ai rappelé dans l'un des chapitres précédents que les cellules reproductrices des plantes houillères (macrospores et microspores des cryptogames vasculaires, grains de pollen des pha-



nérogames), que l'on désigne communément par le terme de *spores*, sont réduites dans les houilles à leur enveloppe externe, cutinisée ou *exine*. La destruction et la diffusion des produits de destruction des membranes internes cellulósiques (intines), des protoplasmes et des noyaux sont mis en évidence par l'*aplatissement constant* des sphères creuses que constituaient alors les membranes cutinisées dont les parois supérieure et inférieure ne tardaient pas à s'affaisser l'une sur l'autre.

Ce vidage des spores, par élimination de leurs contenus protoplasmiques, qui peut seul expliquer le fait, si souvent observé en sections verticales, de l'accolement des parois de l'exine rendant leur cavité virtuelle (consulter beaucoup de figures des planches V à XI) s'opérait par des déchirures de l'enveloppe visibles sur ces mêmes figures et nettement apparentes sur certaines sections horizontales où elles affectent la forme d'une ligne sinueuse (Ld, Fig. 3, Pl. I). Il est probable qu'au cours des premiers stades d'altération des spores sur les aires de dépôt une augmentation de volume du contenu protoplasmique provoquait l'éclatement de la membrane protectrice cutinisée et la formation d'une sorte de clapet dont les lèvres dépassant la longueur d'un diamètre circonscrivaient une fente assez large par où s'échappait le contenu cellulaire et les produits de destruction de l'intine cellulósique complètement disparue. Ce vidage complet des exines de spores devait être favorisé par les pressions qu'elles subissaient du fait de la lame d'eau surplombante et par les différences de concentration en substances dissoutes du liquide protoplasmique et de l'eau encaissante.

Le plus souvent, la disparition des masses protoplasmiques une fois réalisée les parois cutinisées s'accolaient étroitement, de sorte que les cavités des macrospores ou des microspores devenaient en quelque sorte virtuelles et qu'elles n'apparaissent plus que sous forme d'une ligne plus claire. Ce caractère plus facilement observable sur les macrospores, grâce à leurs grandes dimensions (Fig. 20 à 23, Pl. V ; 24 à 27, Pl. VI, 28, 30, 32 à 34, Pl. VII ; 37, 40 à 44, Pl. VIII, etc.), est encore bien visible sur certaines microspores (Fig. 51, 52, Pl. X ; 53, 54, Pl. XI).

Mais dans d'autres circonstances les cavités des exines de spores ont été comblées partiellement par un remplissage secondaire où la pâte est toujours présente, mais contient le plus souvent dans le cas des macrospores de nombreuses microspores. Le remplissage par la pâte pure est la règle pour les microspores (Fig. 14 à 17, Pl. IV ; 55 à 57, Pl. XI), moins fréquent parmi les macrospores il peut être néanmoins observé (Fig. 29, 35 et 36, Pl. VII ; 52, Pl. X). Le plus souvent le remplissage des cavités des macrospores est constitué par des mélanges, en proportions variables, de pâte et de microspores, fait bien mis en évidence par les figures 12, 13 (Pl. III), 14 (Pl. IV), 18, 19 (Pl. V), où les lumières des macrospores présentent des volumes très différents.

La présence des microspores dans la pâte qui forme le remplissage des exines de macrospores a une grande importance théorique, car *elle prouve bien que les substances de ce remplissage ont une origine extérieure* et met donc en évidence, à la fois, la disparition du contenu primitif de la cellule reproductrice, dont seule l'enveloppe protectrice cutinisée a été conservée, et le remplissage de cette dernière *par une masse fluide venue du dehors*.

Quant aux causes qui ont déterminé tantôt l'aplatissement complet des exines de spores et l'accolement de leurs parois et tantôt le remplissage de leurs cavités, il semble que l'on ne doit pas les chercher ailleurs que dans les actions combinées ou séparées de la pesanteur, du

poids de la lame d'eau surplombante ou de la force propulsive du fluide transporteur (courants lents) qui en agissant différemment sur les fentes de déhiscence, suivant les orientations des exines, les obturaient complètement ou les maintenaient largement béantes ; rendant ainsi possible, en des points très voisins, la réalisation des deux phénomènes (Ms, Ms<sub>1</sub>, Fig. 19, Pl. V).

#### b. — REMPLISSAGE DES CUTICULES DE FEUILLES ENTIÈRES.

Si le fait du remplissage des exines de macrospores par la pâte est clairement prouvé, grâce à la présence de corps étrangers (microspores), celui du comblement des cavités incluses entre les cuticules de feuilles entières est beaucoup moins net, ces corps étrangers faisant complètement défaut.

En effet, s'il n'est pas douteux que dans bien des cas des feuilles entières se sont partiellement ou complètement vidées des produits d'altération de leurs tissus internes, comme le montrent bien les plissements en accordéon de certaines cuticules (Fig. 92, 93, Pl. XVIII) et l'accolement intime des parois supérieure et inférieure de certaines autres (Fig. 77, Pl. XV) ; il est bien difficile, dans la plupart des cas, de se rendre compte si les substances amorphes colloïdales incluses entre les parois cutinisées des feuilles entières proviennent de la gélification *in situ* des tissus cellulosiques et de leurs contenus (protoplasme, substances de réserve, noyau, etc.) ou si elles ont la même origine que la pâte de la houille encaissante.

L'observation fréquente de vestiges des axes ligneux ou nervures (Fig. 58, Pl. XII ; Fig. 74, Pl. XIV ; 89, 90, 91, Pl. XVII ; 92, Pl. XVIII) et plus rare d'une structure granuleuse (66, Pl. XII ; 71, 73, Pl. XIII), qui semble bien indiquer les traces d'une organisation cellulaire, milite en faveur de la transformation sur place en substances amorphes des tissus internes des feuilles. Cependant il semble infiniment probable que cette transformation n'a pu s'effectuer sans certains échanges avec le liquide ambiant où les dites feuilles se trouvaient en suspension au cours de leur transport par flottage.

D'autre part, l'absence de corps étrangers (microspores) dans les cavités circonscrites par les cuticules n'implique pas forcément qu'une substance extérieure très fluide n'ait pu y pénétrer ; elle peut simplement indiquer que cette pénétration au lieu de s'opérer par des fentes largement ouvertes, comme dans les macrospores, se faisait seulement par les orifices très étroits que constituaient les stomates des feuilles. (St, Fig. 59, Pl. XII ; 71, 72, Pl. XIII ; 76, Pl. XIV, etc...).

Dans ces conditions, il semble bien admissible que dans certains cas les cavités comprises entre les cuticules vidées de leur contenu aient pu être comblées secondairement par la substance très fluide qui a donné naissance à la pâte de la houille encaissante.

#### c. — REMPLISSAGE DES CAVITES CELLULAIRES DES TISSUS LIGNEUX.

Les tissus ligneux (bois, sclérenchyme) auxquels on peut rapporter la presque totalité des structures cellulaires observables dans la houille <sup>(1)</sup> sont essentiellement des tissus morts jouant seulement des rôles de conduction (bois) ou de soutien (sclérenchyme). Leurs cavités cellu-

(1). Nous avons vu précédemment que seuls certains tissus sécréteurs à contenus cellulaires fossilisés avaient conservé leurs membranes cellulosiques intactes, phénomène du reste assez rare représenté par les figures 98 et 99 (Pl. XIX).

lares ne contenaient plus, dans les végétaux houillers vivants, ni protoplasme ni noyau. Après la mort de la plante la présence de ces cavités cellulaires, entièrement vides, conférait aux masses ligneuses une structure poreuse qui leur permettait d'absorber facilement des solutions capables d'y amener des substances susceptibles de s'y déposer par cristallisation ou par coagulation. Les cavités cellulaires des tissus ligneux représentaient d'innombrables géodes microscopiques qui sont donc devenues autant de réceptacles naturels qui ont été comblés par des substances de remplissage secondaires.

Ordinairement, ces cavités contiennent une substance hétérogène de couleur sombre où l'on distingue, le plus souvent, des granules de Carbonate ou de Sulfure de Fer (Sidérose et Pyrite) comme cela est bien visible sur les figures 149 à 152 (Pl. XXIX), 172, 174 (Pl. XXXIV), 185 (Pl. XXXV), 190, 191, 193 (Pl. XXXVI).

Très fréquemment, néanmoins, ces cavités cellulaires peuvent être entièrement remplies par la même substance amorphe, brillante qui forme la pâte de la houille encaissante sans que, contrairement à une opinion maintes fois soutenue, *la visibilité des tissus ligneux paraisse s'en trouver atténuée en quelque façon que ce soit*. On pourra, en effet, facilement se convaincre par l'examen des figures 153 à 156 (Pl. XXX), 181 (Pl. XXXV), 192 (Pl. XXXVI), 239, 241 (Pl. XLIX) que le remplissage, par la pâte de la houille, de leurs cavités cellulaires n'empêche pas de distinguer nettement la structure de tissus ligneux dont certains présentent des états de conservation remarquables (Fig. 153 à 156). La netteté de structure persiste encore quand cette pâte amorphe occupe dans des tissus désarticulés (*bogenstruktur* ou structure étoilée) les espaces irréguliers dérivant des cavités cellulaires initiales (Fig. 160, Pl. XXXI) ou lorsqu'elle remplit les cavités cellulaires de menus débris de bois formés par quelques cellules ou par des cellules isolées (Fig. 182 à 186, Pl. XXXV).

La mise en lumière de ce mode de gisement de la pâte amorphe de la houille a une grande importance théorique et nous apporte la preuve que cette pâte provient de la coagulation de substance en solution ou en pseudo-solution dans les eaux de la lagune houillère, car il est évident *que seules des solutions assez fluides dont la consistance restait voisine de celle de l'eau ont pu pénétrer les masses poreuses, aux cavités de faibles diamètres, qu'étaient les tissus ligneux*. Elle nous fournit donc une indication précise sur le mode de formation de la pâte des houilles.

En résumé, de même qu'elles moulent tous les contours des corps figurés les plus ténus, les pâtes des houilles se retrouvent à l'état de remplissage dans les cavités microscopiques des débris végétaux telles que les lumières des microspores et des cellules des tissus ligneux. Tous ces caractères ne peuvent s'expliquer que si l'on admet que cette pâte provient de la coagulation de substances en solution ou en pseudo-solution d'une grande fluidité.

### III

#### Existence des ciments ou pâtes des houilles dans certaines roches stériles

Les pâtes amorphes, colloïdales qui cimentent les débris végétaux des houilles existent non seulement dans tous les combustibles solides (houilles, Cannel-Coals, Bogheads), mais

encore dans certaines roches stériles qui accompagnent ordinairement les houilles dans leurs gisements. Ces roches dont j'aurai occasion de parler dans le cours de ce mémoire peuvent être rapportées à un certain nombre de types très intéressants à étudier car ils permettent des observations susceptibles de nous faire mieux saisir le mécanisme de la formation du ciment organique des houilles.

#### A. — Ciment des houilles cendreuses

Je désignerai sous ce nom des roches gardant les aspects macroscopiques des houilles et dont les véritables caractères ne sont décelés que par l'étude microscopique ou par l'analyse immédiate, cette dernière révélant des teneurs en cendres très élevées <sup>(1)</sup>.

La planche LIX montre deux types distincts de ces houilles cendreuses.

Les figures 280 et 281 représentent une roche où de grands fragments de tissus ligneux (Tl) sont enrobés dans un ciment granuleux qu'un examen à un grossissement convenable révèle comme étant formé de fines particules d'argile noyées, elles-mêmes, dans un ciment amorphe, colloïdal, brillant, analogue à celui observable sur les figures 284 et 285.

Les figures 282 à 285 montrent, au contraire, un type de houille cendreuse où une pâte colloïdale et organique très abondante tient presque uniquement en suspension de fines particules d'argile. Comme dans les charbons ordinaires cette pâte forme des lits ou des filets isolés alternant avec des couches riches en substances minérales.

#### B. — Ciment des schistes charbonneux à pâte organique

Ces roches dérivent manifestement des houilles cendreuses par enrichissement en particules argileuses et il est impossible d'établir entre ces deux types distincts une ligne de démarcation nette. Elles sont figurées par les microphotographies de la Planche LX.

La figure 286 représente un type très voisin des houilles cendreuses où des lits de houille brillante (h. amorphe = Vitrain) (H) alternent avec des lits très riches en particules argileuses (A, A<sub>1</sub>).

Sur la figure 287, par un phénomène inverse de celui observé sur la figure précédente, les lits riches en argile sont beaucoup plus développés que les lits de pâte pure.

La figure 288a montre une région très riche en paillettes minérales et renfermant de minces filets de houille brillante ou pâte.

Enfin, la figure 289 met en évidence, à très fort grossissement ( $\times 1360$ ), le caractère amorphe et colloïdal de la pâte organique de ces schistes particuliers.

#### C. — Ciments des lits carbonatés

L'examen microscopique montre que certains lits carbonatés ou clayats, qui paraissent homogènes lorsqu'on les examine à l'œil nu, révèlent, dans ces conditions, des structures complexes dont les deux types sont intéressants à étudier au point de vue qui nous occupe actuellement.

(1). Beaucoup de ces houilles sont désignées par les mineurs sous le nom de *houilles schisteuses*. Nous verrons qu'il est préférable d'employer ce dernier terme pour désigner les houilles qui décelent une structure schisteuse tout en restant parfois très pauvres en cendres.

## a. — LITS CARBONATÉS A CIMENT ORGANIQUE.

Les lits carbonatés à ciment organique possèdent la structure représentée en Cf sur la figure 290 (Pl. LXI) où l'on voit qu'ils sont formés de grains de carbonate de fer noyés dans une pâte organique colloïdale.

Les grains de carbonate peuvent être constitués par des cristaux à formes géométriques nettes (Fig. 291 et 292) ou par des agrégats analogues à ceux de la figure 297 (Pl. LXII). Ils sont identiques à ceux que l'on observe dans certains lits de houille brillante (Vitrain) (Fig. 293 294, Pl. LXI, 295, Pl. LXII) ou semi-brillante (Clarain) (Fig. 275, Pl. LVII).

Leur pâte est identique à celle des lits de houille brillante (Vitrain) avec lesquels ils alternent (H, Fig. 290, Pl. LXI) ou des lits de houille contenant de tels grains de carbonate mélangés à des débris végétaux (Fig. 275, Pl. LVII ; 293 et 297, Pl. LXI et LXII).

Dans ces lits, comme dans les couches de houille où ils se trouvent isolés, ces grains de carbonate de fer sont les équivalents des débris de tissus ligneux, des spores, des cuticules et des corps résineux auxquels on peut les trouver associés, en ce sens qu'ils entrent comme ces derniers dans la catégorie des corps figurés <sup>(1)</sup>. Les formes géométriques, parfois très nettes, des rhomboédres de carbonate (Fig. 291 et 292, Pl. LXI) démontrent qu'ils ont dû prendre naissance dans un milieu très fluide avant l'individualisation de la pâte qui les enrobe.

## b. — LITS RICHES EN DÉBRIS VÉGÉTAUX ET A CIMENT CARBONATÉ.

Les lits à débris végétaux à ciment carbonaté présentent à l'examen à l'œil nu le même aspect que les lits précédents ou que les lits massifs de carbonate de fer tels que celui de la figure 298 (Pl. LXII), mais leur étude microscopique révèle une structure nettement différente.

Cette structure est visible sur les figures 304 à 309 (Pl. LXIV) où l'on peut observer des débris de tissus ligneux analogues à ceux de beaucoup de houilles <sup>(2)</sup> et rappelant dans leur ensemble la texture cinéritique de certains tufs volcaniques <sup>(3)</sup>.

Le ciment de ces lits est constitué par du carbonate de fer affectant les formes compactes (Cf) ou granulaire (Cf<sub>1</sub>). Il contient de fins granules de Pyrite parfois assemblés en agrégats ou en plages (Py), et il est évident qu'il a pris naissance par cristallisation en masse de sidérose dans une eau tenant en suspension des fragments de tissus ligneux. Ces débris végétaux ont dû jouer dans cette cristallisation un rôle important, car ils ont contribué largement à l'apport de carbone nécessaire à la réduction des sulfates en solution <sup>(4)</sup>.

L'existence de ces lits particuliers de Clayats qui se distinguent de certaines houilles en

(1). Le terme *corps figurés* est pris ici dans un sens plus large que celui que j'ai employé antérieurement puisqu'il comprend les débris végétaux organisés et les substances minérales cristallisées.

(2). Comparer les formes de ces débris avec celles de ceux visibles sur les figures 172 à 186 (Pl. XXXIV et XXXV) 190, 192 et 193 (Pl. XXXVI).

(3). Ce phénomène de convergence s'explique très simplement par le fait que les corps étoilés des tufs volcaniques proviennent de la fragmentation de masses bulleuses de lave, tandis que ceux des lits carbonatés qui nous occupent résultent du morcellement de masses cellulaires de tissus ligneux. Les structures bulleuses et cellulaires entrent dans une même catégorie de texture, la texture celluleuse, et il n'est donc pas étonnant que la division mécanique des corps qui présentent ces deux types aboutisse à des débris de mêmes formes géométriques.

(4). J'aurai occasion de revenir plus loin sur la genèse des carbonates des houilles dont j'étudierai alors les différences.

ce qu'un *ciment minéral cristallisé* s'est substitué au *ciment organique amorphe* habituel des charbons et le fait que ce ciment *présente exactement les mêmes conditions de gisement* et occupe tous les espaces compris entre les débris végétaux ne permettent pas d'envisager pour ces deux types de ciments des modes de formation essentiellement différents quant à leur mécanisme. Dans ces conditions, le ciment carbonaté dérivant de la cristallisation de substances minérales dissoutes, il ne paraît pas douteux que le ciment organique provienne de la coagulation de substances en solution ou en pseudo-solution dans l'eau qui tenait en suspension les débris végétaux organisés. Le fait que dans les deux cas ces débris organisés ne se touchent pas implique qu'ils flottaient dans la lame d'eau où la prise de l'un ou l'autre des ciments est venue, par un phénomène assez brusque, arrêter leur mouvement de translation lente.

Ces observations viennent donc confirmer indirectement la théorie que j'ai soutenue dès le début de mes recherches concernant la genèse de la pâte amorphe colloïdale des houilles ou « substance fondamentale » que j'ai toujours considérée comme dérivant de la coagulation de substances végétales en solution ou en pseudo-solution dans les eaux de la lagune houillère ([180], p. 66 et suivantes).

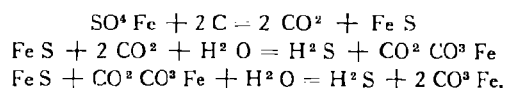
Il n'est d'ailleurs pas douteux que ces carbonates cristallisés et cette pâte amorphe colloïdale prenaient naissance dans des conditions assez voisines comme le prouve suffisamment leur coexistence dans les lits carbonatés à ciment organique (Fig. 290, Pl. LXI) et dans les houilles à grains ou concrétions de Carbonate de fer (Fig. 291 à 294, Pl. LXI ; 295 à 298, Pl. LXII). Enfin, les figures 299 à 303 (Pl. LXIII) où la pâte d'une houille n'enrobe que des concrétions carbonatées (Cf, Cf<sub>1</sub>, Cf<sub>2</sub>) et des particules d'argile (a) mettent en évidence, de façon particulièrement nette, la genèse par voie de précipitation chimique de cette pâte.

En résumé, par leurs caractères morphologiques et leurs modes de gisement, aussi bien dans les roches combustibles (houilles, Cannel-Coals, Bogheads) que dans les roches stériles (houilles cendreuses, schistes bitumineux ou charbonneux, lits carbonatés) qui leur sont associées, les substances amorphes des houilles se comportent exactement comme les pâtes ou ciments des roches sédimentaires auxquels elles doivent être assimilées quant au rôle qu'elles ont joué dans la consolidation des accumulations de débris végétaux.

Ces pâtes ou ciments organiques dérivent de phénomènes de précipitation de substances végétales en solution ou en pseudo-solution dans les eaux de la lagune houillère. Elles ont été à l'origine des gels ou coagulums qui en enrobant les débris organisés tenus en suspension par la lame d'eau reposant sur le fond ont joué, vis-à-vis de ces débris, le rôle de milieu fixateur capable d'enrayer ou du moins d'entraver et de rendre très lentes les actions microbiennes qui tendaient à les détruire. Ce rôle protecteur a été s'accroissant et est devenu très efficace lorsque ces masses gélatineuses, colloïdales sont passées de l'état plastique à l'état solide par

manières d'être. Je me bornerai à rappeler ici les formules admises par MURRAY, RENARD, IRWINE, STOCKS, STOPES et WATSON à la suite d'observations et d'expériences aujourd'hui célèbres. Voir : [453], [454], [607], [612].

Si l'on se place dans le cas très simple où le point de départ est du sulfate de fer et le résultat du carbonate de fer ces formules sont :



suite de la diagenèse du sédiment ; leur durcissement progressif rendant de plus en plus difficile le développement des organismes destructeurs.

Aux phénomènes de précipitation mécanique des débris végétaux (spores, cuticules, corps résineux, tissus ligneux) venaient s'ajouter dans les eaux de la lagune houillère des phénomènes de précipitation chimique générateurs de la pâte qui les enrobe. Ces derniers phénomènes ont pu dans certains cas se produire en l'absence des premiers (apport de débris organisés) et donner naissance à des lits de houille amorphe (houille brillante = Vitrain).

#### IV

### Origine des substances constitutives des ciments ou pâtes des houilles

Dans le domaine de l'observation pure le *caractère amorphe* des substances constitutives des pâtes des houilles ne peut être mis en doute. Dans l'état actuel de nos connaissances, étant donné les moyens d'investigation dont nous disposons aujourd'hui, il semble également bien prouvé, comme je m'efforcerai de le démontrer ultérieurement, *que ce caractère amorphe est réel* et ne résulte pas comme l'ont prétendu certains auteurs d'une oblitération de structures qui seraient susceptibles d'être mises en évidence par des procédés spéciaux <sup>(1)</sup>.

La nature amorphe de ces substances rend naturellement très difficile la recherche de la solution du problème de leur origine qui ne peut être résolu que d'une façon approchée à caractères hypothétiques. Néanmoins, les connaissances actuellement acquises sur ce constituant constant des charbons et de certaines roches stériles permettent d'étayer ces hypothèses sur des faits scientifiques précis et de leur donner, par conséquent, une grande force probante. Ces faits scientifiquement établis sont les suivants :

1<sup>o</sup> *Les substances amorphes des houilles et des roches voisines ont une origine organique et proviennent de la destruction, de l'altération ou de la transformation de substances végétales organisées ou non.* La première affirmation est basée sur les résultats concordants de toutes les analyses chimiques immédiates ou élémentaires des houilles qui démontrent que ces roches combustibles *sont formées d'hydrocarbures*. Quant à la seconde elle repose sur tout ce que nous savons des caractères généraux de l'époque houillère qui mettent en évidence *une prépondérance du règne végétal* qui n'a jamais été égalée dans les autres périodes géologiques.

2<sup>o</sup> *Sous des aspects rigoureusement identiques, que révèlent aussi bien l'examen macroscopique que l'étude microscopique, les substances amorphes des houilles présentent des compositions chimiques très différentes, compositions chimiques aussi différentes que celles qui caractérisent les divers types de houilles et d'antracites.* Ceci résulte de toutes les recherches chimiques qui ont été faites dans le but de comparer les propriétés des houilles brillantes (Vitains) des différents types de combustibles paléozoïques [135 et 308] et des investigations analogues poursuivies parallèlement à des examens microscopiques [200], recherches et investigations sur lesquelles

(1). Dans le cas des surfaces polies l'un de ces procédés spéciaux est l'attaque par des réactifs ou des agents appropriés. attaque dont j'ai déjà signalé l'inutilité et les dangers.

j'aurai occasion de revenir avec quelques détails dans les chapitres de ce mémoire consacrés à l'étude des constituants macroscopiques des charbons.

3<sup>o</sup> *Les substances amorphes des houilles possèdent des compositions chimiques très voisines de celles que présentent dans leur ensemble les houilles ou les anthracites qui les contiennent.* Autrement dit, comme je l'ai montré antérieurement [200], il existe un rapport constant entre la composition des dites substances amorphes (lits de houille brillante ou pâte) et les caractères chimiques généraux que présente, au point de prise, la veine de houille ou d'anthracite ; caractère qui est également bien mis en évidence par les belles recherches de MM. COOPER [135] et HENDRICKSON [308] sur les constituants macroscopiques des houilles anglaises.

Ces connaissances précises des caractères physiques et chimiques des substances amorphes des houilles vont me permettre, en les coordonnant à celles que m'a fourni, d'autre part, l'étude microscopique des débris organisés de ces roches combustibles, d'aborder scientifiquement le problème de l'origine des substances non organisées des charbons paléozoïques.

#### A. — Nature des substances végétales qui ont concouru à la formation des ciments ou pâtes des houilles

L'étude microscopique des débris organisés des houilles (Chapitres V à VII) nous a montré que de toutes les substances végétales constitutives des plantes houillères, quelques-unes seulement se retrouvent à l'état fossilisé dans ces roches combustibles et y ont conservé leur organisation propre. Ces substances sont dans l'ordre où je les ai décrites :

1<sup>o</sup> *Les substances cutinisées* (spores, cuticules).

2<sup>o</sup> *Les substances résineuses* (appareils sécréteurs, essences, résines).

3<sup>o</sup> *Les substances ligneuses* (bois, sclérenchyme).

Nous ne retrouvons donc plus trace dans ces combustibles fossiles de nombreux tissus végétaux (collenchyme, suber ou liège) dont certains (tissus cellulosiques) formaient les parties vivantes des plantes carbonifères. De même les protoplasmes et les substances de réserve contenus dans les cellules de ces tissus vivants échappent par la destruction même des dits tissus à notre observation. Nous acquérons ainsi la preuve que ces tissus (t. cellulosiques collenchyme, liège) ont subi une *désorganisation totale* qui a abouti, tout au moins au cours des premiers stades d'évolution, à la mise en liberté de *très importantes quantités de substances organiques* auxquelles venaient s'ajouter les produits de la transformation des autres tissus et des substances de réserve.

Au cours de leur accumulation sur les aires de dépôt des veines de houille, les alluvions végétales donnaient donc naissance, à côté des débris organisés que j'ai décrits précédemment, à *d'importantes masses de substances organiques* résultant de la désorganisation de certains tissus ou de la transformation de certains autres et des substances végétales non organisées. Ces substances organiques avaient des origines variées que je résumerai brièvement :

a. — Une première portion de ces substances provenait *de la désorganisation totale des*



*tissus mous* (t. cellulosiques, collenchyme et peut-être du liège) dont nous ne retrouvons plus traces dans les houilles paléozoïques.

b. — Une deuxième portion était représentée par le *protoplasme des cellules vivantes* et les *substances de réserve* qu'il contenait auxquels venaient s'ajouter leurs produits d'altération. Cette portion comprenait donc des substances organiques de compositions chimiques extrêmement variées puisqu'aux *albuminoïdes* des substances vivantes (protoplasme et noyau) venaient s'ajouter d'autres albuminoïdes tels que la *chlorophylle* et la *xanthophylle*, des *hydrates de carbone* (Amidons, dextrines, etc...), des *sucres* (glucose, saccharose, pentose, hexose etc...), etc... et les multiples composés organiques résultant de leurs transformations.

c. — Une troisième portion d'importance vraisemblablement beaucoup moindre que les deux précédentes résultait de l'*altération* des substances que nous retrouvons à l'état organisé (bois, sclérenchyme, tissus sécréteurs, exines de spores, cuticules) et de la *destruction* de substances analogues, au cours de circonstances particulières, dont l'existence nous est démontrée par le morcellement extrême qui affecte parfois les dits débris organisés.

d. — Enfin, une quatrième portion, dont l'importance variait suivant les cas, provenait des solutions humiques formées par lessivage des sols de végétation ou par les produits de l'activité des animaux microscopiques (infusoires, etc...) et des plantes inférieures (algues) qui devaient pulluler dans les eaux qui recouvraient les aires de dépôt des débris végétaux organisés.

Dans ce développement, où je tiens à m'écarter le moins possible des faits d'observation, j'envisagerai uniquement la dérivation des pâtes des houilles à partir des substances organiques provenant des végétaux supérieurs (origines a, b et c) dont la présence dans les houilles nous a été démontrée par l'étude des débris organisés, dérivation qui permet déjà d'expliquer de façon satisfaisante la formation de plusieurs types chimiques de pâte.

L'influence de la quatrième origine (d) ne sera étudiée qu'ultérieurement, car elle ne peut être déterminée à la seule lumière des faits observés et suppose résolu certains problèmes dont les solutions ne peuvent être qu'approchées et conservent certains caractères hypothétiques (1).

Quelle que soit leur origine tous ces produits de désintégration ou de transformation des substances végétales se trouvaient exactement placés dans les mêmes conditions qui ont présidé à la fossilisation des débris organisés, de sorte qu'en raison d'un *déséquilibre biologique* résultant de l'insuffisance des agents destructeurs, eu égard à leur masse, elles ont pu donner naissance à des *solutions* ou à des *pseudo-solutions* qui amenées à saturation se coagulaient pour former les masses plastiques qui ont enrobé les fragments de bois, les corps résineux, les spores et les cuticules. C'est à partir de ces masses plastiques, constituant un milieu fixateur et contenant ou non, suivant les circonstances, des débris organisés, que se sont individualisées les substances amorphes des houilles que l'on observe aujourd'hui à l'état de ciment (pâtes des houilles mates et semi-brillantes) ou de lits de pâte pure (houilles brillantes).

Cette manière de voir n'est pas une simple vue de l'esprit car elle se trouve confirmée par

(1). Consulter dans le livre II de ce mémoire le chapitre consacré à l'étude du mode de formation des sédiments houillers.

des expériences et des observations précises. Dans le but de résoudre certains des problèmes que pose l'agglomération des poussières de charbon M. C. H. S. TUPHOLME [654] a proposé la fabrication d'un liant d'origine végétale qui réalise expérimentalement la fossilisation de certains débris végétaux et la transformation en substances amorphes de certains autres. Cette fabrication consiste à étaler sur de grandes aires des débris végétaux (paille, algues, joncs, feuilles mortes, etc...) et à les arroser d'une solution chimique destinée à favoriser les actions microbiennes (fermentations). En deux ou trois mois ces débris végétaux sont transformés en une masse plastique amorphe où ne subsistent plus que quelques fibres ligneuses et où les tissus cellulosiques ont perdu toute individualité par suite d'une gélification. Cette technique met en évidence, fait bien connu depuis longtemps, qu'abandonnées à l'air libre les substances végétales riches en cellulose se transforment en matières glaireuses ayant parfois la consistance d'une gelée. Si l'on se place uniquement dans le domaine des caractères physiques on peut donc dire que dans la nature actuelle la synthèse de substances amorphes, très analogues à celles des houilles, se trouve réalisée à partir de la cellulose, des substances de réserve, du protoplasme des cellules vivantes, etc... en un mot à partir de toutes les substances auxquelles j'ai attribué des rôles prépondérants dans la genèse des pâtes des charbons.

En résumé, les substances amorphes des houilles, autres que celles qui se sont formées par gélification en masses de débris organisés et ont été décrites dans les chapitres précédents, proviennent de la coagulation de solutions ou de pseudo-solutions dérivant elles-mêmes de la destruction ou de la transformation des substances constitutives des végétaux houillers. Formées surtout d'hydrates de carbones et d'albuminoïdes individualisés grâce à la destruction des tissus mous (surtout des tissus cellulosiques) et à la transformation des substances de réserve, ces solutions ont pu néanmoins résulter, en partie, de l'altération et de la désintégration de substances analogues à celles qui entrent dans la composition chimique des débris organisés fossilisés dans ces combustibles fossiles.

## B. — Genèse de plusieurs types chimiques de substances amorphes ou pâtes

Nous avons vu que sous des aspects rigoureusement identiques les substances amorphes des houilles présentent des compositions chimiques très différentes et que ces compositions chimiques se trouvent liées à celles que possède, en un point donné, toute la veine de charbon. Ces faits d'observation s'expliquent très facilement par l'étude pétrographique des houilles et des anthracites.

Cette étude pétrographique montre, en effet, que dans une houille quelconque, non métamorphisée, il existe un rapport constant entre la nature de la pâte et la nature des débris organisés qui caractérisent la roche combustible en question <sup>(1)</sup>. Dans les grands types lithologiques de houille

(1). Ce rapport constant n'existe naturellement que lorsque, comme c'est précisément la règle dans notre Bassin houiller, les charbons n'ont subi postérieurement à leur formation que des actions diagénétiques normales et n'ont été que peu ou pas métamorphisés. Il ne peut, au contraire, être question de le faire intervenir dans les charbons tels que ceux de Pennsylvanie [212] où des actions métamorphiques intenses ont précisément fait disparaître les caractéristiques initiales des accumulations végétales.

que j'ai distingués antérieurement [191, 197] et que j'étudierai dans l'un des chapitres suivants ces rapports peuvent être exprimés de la façon suivante :

1<sup>o</sup> Dans les *houilles de cutine* (houilles bitumineuses) où les débris organisés ne sont pratiquement représentés que par des spores et des cuticules, les substances amorphes (pâte ou lits de houille brillante) *sont riches en matières volatiles* (M. V. > 26 %) *et n'ont que des pouvoirs cokéfians faibles ou nuls.*

2<sup>o</sup> Dans les *houilles ligno-cellulosiques* où les substances végétales fossilisées sont presque uniquement représentées par des débris de tissus ligneux, les substances amorphes (pâte et lits de houille brillante) possèdent des compositions chimiques qui sont, en règle générale, en rapport avec les états de conservation des fragments de bois et de sclérenchyme.

a) Dans certaines de ces houilles (houilles à coke), où les débris de tissus ligneux sont bien conservés, les substances amorphes à *teneurs en matières volatiles moyennes* (18 % < M. V. < 26 %) *sont caractérisées par des pouvoirs cokéfians élevés.*

b) Dans toutes les autres de ces houilles (houilles anthraciteuses et anthracites), où les tissus ligneux sont en règle générale gélifiés, les substances amorphes, *pauvres en matières volatiles* (M. V. < 18 %), *ont des pouvoirs cokéfians faibles ou nuls.*

Tous ces faits que nous révèlent les études pétrographiques et chimiques des charbons paléozoïques peuvent être résumés dans les deux conclusions suivantes :

*a.* — Les compositions chimiques des substances amorphes sont fonctions des compositions chimiques des débris organisés auxquels elles se trouvent associées.

*β.* — Ces mêmes compositions chimiques sont fonctions de transformations secondaires qui ont affecté simultanément les pâtes et les lits de houille brillante amorphe, d'une part, et les débris organisés, d'autre part.

Ces rapports s'expliquent facilement de la façon suivante :

#### a. — FORMATION DE DEUX TYPES CHIMIQUES DE SUBSTANCES AMORPHES.

Le classement mécanique, au cours d'un transport en eaux calmes, des deux grands types de débris végétaux organisés qui caractérisent les deux grandes variétés lithologiques de charbons paléozoïques [191, 197, 208, 210, 211 bis, 211 ter et CHAPITRE XVII<sup>e</sup>] avait pour corollaire obligatoire un classement des substances attaquables susceptibles de fournir la matière nécessaire à la genèse des substances amorphes. En effet, il est logique d'admettre que ce sont, dans chacun de ces deux cas particuliers, les substances qui se trouvent associées dans les végétaux vivants à chacun des deux types de débris qui ont surtout concouru à la formation de la pâte qui enrobe les dits débris et forme à elle seule toute la masse des lits de houille brillante adjacents.

Les substances amorphes des houilles se sont donc individualisées à partir des deux groupes de substances végétales suivantes :

$\alpha$  — *Origine des substances amorphes des houilles de cutine.*

Dans ces houilles, où les débris organisés sont presque uniquement représentés par des exines de spores et des cuticules de feuilles, les substances amorphes se sont surtout individualisées à partir des *albuminoïdes* qui entraînent en fortes proportions dans la composition du protoplasme et des noyaux des cellules reproductrices et des cellules vivantes des feuilles des végétaux carbonifères. A ces albuminoïdes venaient s'ajouter des *hydrates de carbone* tels que les *amidons*, les *dextrines*, les *pectoses* (polysaccharides), les *sucres* (disaccharides et monosaccharides) qui constituaient dans le protoplasme des spores des substances de réserve et dans celui des cellules vivantes des feuilles les produits des synthèses dues à l'activité vitale de la plante et enfin des *substances aromatiques* de la série terpénique telles que les essences et les résines<sup>(1)</sup>.

Dans les dépôts initiaux à partir desquels se sont différenciées les houilles bitumineuses (M. V. > 26 %), toutes ces substances végétales (albuminoïdes, chlorophylle, hydrates de carbone autres que la cellulose, essences et résines) *l'emportaient de beaucoup sur la cellulose* qui entrainait seulement dans la composition des membranes des intines de spores et des cellules vivantes des feuilles.

Les différences de compositions chimiques initiales des substances originelles des pâtes des houilles de cutine et des houilles ligno-cellulosiques se trouvaient encore accentuées par le fait que dans les premières (h. de cutine) aux albuminoïdes et aux substances de réserve venaient s'ajouter *les produits d'altération de la cutine* des spores et des cuticules, et dans le cas des charbons de feuilles la *chlorophylle* et la *xanthophylle* des dites feuilles, qui sont elles-mêmes des albuminoïdes particuliers, toutes substances faisant presque complètement défaut dans les accumulations ligno-cellulosiques.

Cette origine à partir des albuminoïdes végétaux des substances amorphes des charbons de cutine explique bien les analogies de compositions chimiques observées depuis très longtemps entre ces houilles bitumineuses et les pétroles individualisés à partir d'albuminoïdes d'origine animale.

En résumé, les substances amorphes des houilles de cutine que l'on retrouve à l'état de pâte dans les lits de houille mate (Durain) ou semi-brillante (Clairain) et à l'état de lits homogènes sous forme de houille brillante (Vitrain) dérivent surtout des *albuminoïdes*, des *substances de réserve* et des *essences et résines*<sup>(2)</sup> des plantes houillères et de *tous leurs produits d'altération et de transformation*.

$\beta$  — *Origine des substances amorphes des houilles ligno-cellulosiques.*

Ces houilles sont caractérisées par l'absence presque constante ou, du moins, l'extrême rareté des spores et des cuticules, la rareté des corps résineux et la fréquence des tissus ligneux.

(1). Comme je l'ai montré, les résines bien que fréquentes dans les houilles de cutine n'y jouent *en tant que débris organisés* (appareil sécréteur pluri- ou unicellulaires) que des rôles très peu importants eu égard à celui des spores et des cuticules. Il est infiniment probable qu'elles ont participé, au moins dans une certaine mesure, tout comme les essences, à la formation des substances amorphes des houilles bitumineuses.

(2). Cette origine de la pâte des houilles de cutine à partir des résines explique bien pourquoi l'on arrive aujourd'hui à extraire de ce genre de combustible des quantités de substances résineuses bien supérieures aux pourcentages de tissus sécréteurs fossilisés dans les charbons en question.

Ces derniers ne forment jamais toute leur masse, les substances amorphes (pâte ou lits de houille brillante) jouant, en règle générale, des rôles plus importants que dans les houilles de cutine.

Ces substances amorphes abondantes des houilles ligno-cellulosiques proviennent, selon toute vraisemblance, des substances constitutives des tissus mous qui se trouvaient associées aux tissus ligneux dans les végétaux houillers, c'est-à-dire, *des tissus cellulosiques* qui entraient dans la composition des vaisseaux libériens, des parenchymes et des collenchymes qui formaient avec les vaisseaux ligneux et les fibres sclérifiées toute la masse des tiges et des rameaux des plantes houillères dont les débris ligneux représentent, dans les charbons paléozoïques, les seuls vestiges organisés.

Ces substances amorphes ont donc une tout autre origine que celle des substances amorphes des houilles de cutine puisqu'elles proviennent, *presque exclusivement, de la cellulose et de ses produits d'altération* auxquels venaient s'ajouter, en faibles proportions, des produits d'altération et parfois de destruction de masses ligneuses analogues à celles qui caractérisent ce type de combustible. Les compositions chimiques des débris organisés (t. ligneux) et des substances originelles de leur pâte, (tissus cellulosiques) très différentes de celles qui ont donné naissance aux houilles de cutine, expliquent pourquoi dans nos bassins houillers les houilles ligno-cellulosiques ne présentent jamais de teneurs en matières volatiles dépassant de beaucoup 26%.

En dernière analyse, tous les faits d'observation conduisent à admettre que suivant la nature des dépôts organiques, à partir desquels se sont individualisées les veines de houille, il se formait deux types de substances amorphes essentiellement différentes.

1<sup>o</sup> Dans les *dépôts riches en cutine* (spores, cuticules), qui ont donné naissance aux houilles bitumineuses, les substances amorphes dérivait surtout des *albuminoïdes* et de leurs produits d'altération et d'*hydrates de carbone particuliers* (amidons, dextrines, sucres, etc... = Substances de réserve).

2<sup>o</sup> Dans les *dépôts riches en débris ligneux*, à partir desquels se sont différenciées la plupart de nos houilles à coke et de nos anthracites, les substances amorphes dérivait, au contraire, de la *cellulose* et de ses produits d'altération.

#### b. — ÉVOLUTIONS SECONDAIRES DES DEUX TYPES DE SUBSTANCES AMORPHES.

Les substances amorphes des houilles qui peuvent être étudiées chimiquement grâce à la présence de houille brillante (Vitrain) [200] possèdent des compositions chimiques très voisines de celles qui caractérisent la veine qui les contient au point de prise envisagé. Il s'en suit que ces compositions chimiques varient presque à l'infini dans une veine de houille de quelque étendue, et qu'aussi bien dans les houilles bitumineuses que dans les houilles à coke et les anthracites les compositions chimiques des pâtes oscillent entre les limites qui caractérisent ces trois types de combustibles.

Sans entrer ici dans le détail de l'étude des causes qui ont pu déterminer des évolutions très différentes de ces deux types de pâtes, je me bornerai à rappeler que dans le bassin houiller franco-belge *ces évolutions semblent bien résulter d'une diagénèse précoce des accumulations végétales* [208, 210, 211 bis et 211 ter] qui a affecté, simultanément, les débris végétaux et les substances amorphes et a provoqué leur amaigrissement.

Les pâtes amorphes de certaines houilles bitumineuses (h. grasses maréchales, 26% < M. V. < 32%) représenteraient les termes ultimes normaux de l'amaigrissement des pâtes des charbons de cutine, tandis que les pâtes des anthracites (M. V. < 8%) correspondraient au maximum normal d'amaigrissement des pâtes des houilles à coke (18% < M. V. < 26%)<sup>(1)</sup>.

En résumé, les substances amorphes des houilles présentent sous des aspects identiques des compositions chimiques très différentes qui sont en rapport avec les diverses substances végétales qui leur ont donné naissance. Ces différences peuvent avoir été conservées grâce à des évolutions parallèles sous des actions diagénétiques qui en s'exerçant dans certains cas, avec des intensités variables, ont pu tendre, néanmoins, à diminuer ces différences originelles, et dans des cas plus rares à les effacer presque complètement. En règle générale, cette uniformisation ne s'observe que là où l'on peut invoquer l'action d'un métamorphisme<sup>(2)</sup>.

## Conclusions

### de l'Étude morphologique des ciments ou pâtes des houilles

De l'étude morphologique de la pâte des houilles qui a fait l'objet de ce chapitre, on peut tirer un certain nombre de conclusions importantes aux points de vue de la structure et de la genèse des houilles.

1° L'existence de la pâte amorphe, colloïdale des houilles, aujourd'hui mise en évidence par de nombreux documents photographiques, vient entièrement confirmer les observations de FRÉMY, VAN TIEGHEM, VON GUMBEL, B. RENAULT et C. Eg. BERTRAND qui sous des noms très divers (gelée fondamentale, carbo-humin, substance fondamentale) ont affirmé la présence dans tous les charbons de substances organiques complètement désorganisées et dépourvues de toute structure.

2° Le fait que cette pâte amorphe forme à elle seule toute la masse ou presque toute la masse de certains lits de houille, sur la nature desquels j'aurai occasion de revenir dans les chapitres réservés à l'étude de certains constituants macroscopiques des charbons (houille brillante = Vitrain) ou de certains types de houilles (houilles anthraciteuses du Nord de la France), démontre que l'hypothèse de FRÉMY, qui admettait que les vestiges organisés sont aussi rares dans les houilles que les fossiles dans certaines roches, se trouve partiellement vérifiée.

3° Par contre, l'extrême réduction de la pâte dans certaines houilles, en particulier dans beaucoup de houilles de spores, démontre que cette idée de la structure amorphe des houilles émise par Al. BRONGNIART et FRÉMY et reprise récemment par M. JEFFREY, en ce qui concerne les houilles à coal-balls de Westphalie, ne peut être généralisée; un grand nombre de houilles renfermant en quantités prodigieuses des débris végétaux organisés.

(1). Toutes ces idées exprimées dans les notes citées seront reprises dans les chapitres de ce volume consacrés à l'étude de la formation des veines de houille (Voir : Livre II).

(2). Tel est le cas des charbons pennsylvaniens où un métamorphisme a abouti à la transformation en anthracites des houilles de cutine. (Voir à ce sujet : [211 bis et 212]).

4° Le caractère amorphe de cette pâte et son origine par précipitation chimique de substances végétales en solution ou en pseudo-solution dans les eaux de la lagune houillère sont mis en évidence par la disposition même des débris végétaux organisés qui se trouvent répartis dans sa masse.

5° Le fait que la pâte colloïdale des houilles a pénétré dans des cavités microscopiques ou quasi microscopiques des tissus ligneux, des microspores et des macrospores démontre que cette pâte provient de la coagulation de solutions assez fluides pour pénétrer facilement dans des vides aussi ténus et imprégner parfois complètement les masses poreuses de bois ou de sclérenchyme.

6° La pâte amorphe colloïdale des houilles, les concrétions carbonatées qu'elle renferme parfois en très grandes quantités et le ciment carbonaté, qui réunit les débris végétaux de certains lits de Clayats, se sont individualisés de la même façon par précipitation chimique de substances en solution ou en pseudo-solution dans les eaux de la lagune houillère. La seule différence observable tient uniquement à la nature des substances constitutives, la précipitation revêtant la forme d'une cristallisation dans le cas du ciment ou des concrétions minérales, d'une coagulation dans celui du ciment organique colloïdal des charbons ou des roches voisines.

7° L'étude de certaines roches stériles, associées aux houilles dans leurs gisements, m'a permis de mettre en évidence, à côté des schistes charbonneux ou bitumineux à débris végétaux décrits depuis longtemps, l'existence d'un nouveau type de schiste riche en substances organiques où les particules d'argile sont cimentées par une pâte amorphe, colloïdale, analogue à celle des houilles. Ces schistes à ciment organique, qui passent insensiblement aux houilles proprement dites par l'intermédiaire de houilles cendreuses, me permettront de comparer certaines roches houillères aux roches actuelles à ciment végétal connues sous les noms d'*alios* et de *orstein*.

8° Au cours de cette étude des pâtes des houilles, j'ai été amené incidemment à distinguer parmi les lits de carbonate de fer (Clayat) intercalés dans la masse de certaines veines trois types distincts dont les deux derniers contiennent des substances organiques amorphes ou organisées. Ces trois types sont :

- a) Les lits massifs de carbonate de fer sans trace de matières organiques.
- b) Les lits où les grains ou agrégats de grains de sidérose sont noyés dans un ciment organique.
- c) Les lits où des débris de tissus ligneux sont enrobés dans un ciment carbonaté.

9° Les pâtes des houilles se sont individualisées surtout à partir des substances végétales autres que celles qui subsistent dans cette roche combustible à l'état organisé. Elles dérivent donc principalement des hydrates de carbone (cellulose, pectose, amidons, dextrine, mono et disaccharides, etc...) et des albuminoïdes (protoplasme, suc nucléaire, lécithine, chlorophylle, xanthophylle etc...) ou de leurs produits d'altération ou de transformation.

Les substances végétales que l'on retrouve à l'état fossilisé (cutine, lignine, résine) ont pu jouer un rôle moins important dans la genèse des pâtes. Dans certains cas (houilles de cutine)

le rôle des résines a pu être considérable, caractère qui expliquerait pourquoi on arrive à en extraire aujourd'hui des substances résineuses.

10° Dans les deux types de houilles caractérisés respectivement par les débris cutinisés (spores, cuticules) et par les tissus ligneux (bois, sclérenchyme) les pâtes présentaient à l'origine des compositions chimiques différentes en rapport avec la nature des substances végétales dont elles dérivent.

Dans les houilles de cutine (h. bitumineuses) elles proviennent surtout de substances albuminoïdes (protoplasme, suc nucléaire, lécithines, chlorophylle, etc...) caractère qui explique, au moins en partie, les analogies de composition chimique de ces houilles et des pétroles formés à partir d'albuminoïdes d'origines animales.

Dans les houilles ligno-cellulosiques (h. à coke, h. anthraciteuses et anthracites) cette pâte dérive, au contraire, de la cellulose et de ses produits d'altération.

Ces différences des compositions chimiques originelles des pâtes des deux types de houilles ne sont, en règle générale, qu'atténuées par les actions diagénétiques, mais peuvent être annulées par des actions diagénétiques particulières et surtout par des actions métamorphiques. Ce dernier cas paraît dans l'état actuel de nos connaissances ne s'être réalisé que très exceptionnellement dans le Bassin houiller du Nord de la France.

---



## SECTION III

## LES SUBSTANCES MINÉRALES DES HOUILLES

## ORIGINES MULTIPLES DES CENDRES DES CHARBONS PALÉOZOIQUES

Dans le sens courant et commercial du terme les *houilles* sont par définition des roches combustibles essentiellement organiques *pauvres en substances minérales*. Dans le domaine pétrographique le terme houille ne peut être pris dans un sens aussi restreint et doit forcément être étendu à toutes les roches combustibles d'aspects identiques, d'un gisement paléozoïque, qu'elles contiennent ou non d'assez fortes proportions de cendres. C'est pour cette raison que je désignerai par le terme « *houilles cendreuses* » et parfois même par le terme « *houille* » certains combustibles riches en substances minérales où ces dernières substances jouent le rôle d'un élément constitutif important.

L'étude de ces houilles cendreuses est intéressante car ces roches mixtes représentent une forme de passage des roches combustibles aux roches stériles.

D'autre part, même lorsque les substances minérales décelables au microscope n'existent qu'en quantités infimes dans les houilles normales leur étude offre, néanmoins, un intérêt général, car elle permet de mettre en évidence des faits d'observation susceptibles d'élucider certains points du problème du mode de formation des houilles.

## CHAPITRE NEUVIÈME

**Les substances cendreuses des houilles observables  
au microscope**

## PLANCHES LVII A LXIV

## SOMMAIRE

- I. — LES SUBSTANCES ARGILEUSES. — Leur origine détritique. — Leur stratification dans les lits de houille.
- II. — LES SUBSTANCES CARBONATÉES. (*Sidérose, Dolomie, Calcite*). — A. Carbonates d'origine primaire. Cristaux, grains, agrégats, concrétions, lits et ciments carbonatés. — Leurs caractères stratifiés. — B. Carbonates d'origine secondaire. Leur localisation dans les vides de retrait et dans les diaclases des houilles. — C. Genèse des carbonates des houilles.
- III. — LES SUBSTANCES SULFURÉES ET SULFATÉES. — A. Les Sulfures de fer (*Pyrite et Marcassite*). Leurs caractères morphologiques. Bisulfures d'origine primaire. Bisulfures d'origine secondaire. — B. Les sulfates de fer. (*Mélanterite*). Leur formation par altération des pyrites. — C. Mode de distribution des sulfures de fer dans les houilles des veines à toit marin. État d'extrême division de ces substances minérales.

Les substances minérales dont l'existence est mise en évidence par l'examen microscopique présentent dans les houilles deux types de gisement très différents en rapport avec leur origine et leur mode de formation.

1<sup>o</sup> Les substances minérales *d'origine primaire* <sup>(1)</sup> se sont individualisées au cours de l'accumulation du sédiment et sont comme les débris organisés *nettement stratifiés* dans la masse de la roche combustible.

2<sup>o</sup> Les substances minérales *d'origine secondaire* <sup>(1)</sup> se sont déposées après le durcissement des houilles dans les fentes et vides de retrait qu'elles contiennent. Ce sont des *minéraux de remplissage* résultant d'actions postérieures au phénomène de dépôt dont certaines s'exercent encore de nos jours.

Les substances argileuses ont presque toujours dans les houilles une origine primaire, les substances carbonatées et sulfurées présentent, au contraire, très fréquemment soit une origine primaire, soit une origine secondaire.

## I

### LES SUBSTANCES ARGILEUSES

PLANCHES LIX, LX ET LXIII

Ces substances sont celles qui représentent l'élément constitutif dominant des schistes houillers. L'examen microscopique de surfaces polies en lumière réfléchie permet de montrer que ces substances argileuses <sup>(2)</sup> se retrouvent identiques à elles-mêmes, quant à leurs caractères morphologiques et à leur mode de gisement, aussi bien dans les houilles que dans les houilles cendreuses, les schistes charbonneux ou bitumineux et les schistes proprement dits.

Dans toutes ces roches combustibles, mixtes ou stériles, les substances argileuses se présentent sous forme de grains très fins, de particules ou de paillettes de teintes gris foncé. (Fig. 280 à 289, Pl. LIX et LX ; 299 à 303, Pl. LXIII) <sup>(3)</sup>. Ces particules peuvent être isolées les unes des autres et noyées dans une pâte organique, amorphe et brillante analogue au ciment des houilles (Fig. 284, Pl. LIX). Le plus souvent elles forment des lits lenticulaires, d'aspects gra-

(1). Les termes « *primaire* » et « *secondaire* » sont pris ici dans le sens courant où ils sont utilisés en Minéralogie et en Géologie, notamment dans la « *Minéralogie de la France, et de ses colonies* » de M. A. LACROIX [370] et dans les Mémoires et traités de pétrographie de M. M. L. CAYEUX [130 à 132] et J. DE LAPPARENT [382].

(2). Je ne donnerai pas ici la description des caractères minéralogiques des silicates d'alumine hydratés que sont les argiles et je me bornerai à rappeler que leurs particules constitutives peuvent être, suivant les espèces, *crystallisées* ou *amorphes*. Pour la description de ces minéraux et de ces roches le lecteur voudra bien se reporter à l'un des trois ouvrages suivants :

L. CAYEUX. — [131], p. 229 à 233.

A. LACROIX. — [370], T. I, p. 461 à 487.

J. DE LAPPARENT. — [382], p. 396 à 419.

(3). Voir aussi les deux figures de la planche qui accompagne la note [213<sup>ter</sup>] représentant un *escaillage* et un *schiste charbonneux* intercalés dans une veine d'anthracite belge.

nuleux, disséminés dans la masse des houilles brillantes (Vitrain) (Fig. 284, 285, Pl. LIX ; 289, Pl. LX ; 299 à 303, Pl. LXIII) où ces substances argileuses se rencontrent aussi à l'état de petits amas ou de minces filets. (Fig. 282, 283, Pl. LIX ; 299 à 303, Pl. LXIII).

Dans les schistes charbonneux ou autres ces particules argileuses forment des lits massifs avec ou sans ciment organique alternant régulièrement avec des lits ou filets de houille brillante (Fig. 286, Pl. LX) ou contenant de minces filets et des lits lenticulaires de pâte pure (houille brillante = Vitrain) (Fig. 288 à 287, Pl. LX), ([213<sup>ter</sup>], Pl. X, Fig. 1 et 2).

Dans les schistes comme dans les houilles les particules argileuses se trouvent associées à des débris organisés tels que des débris de tissus ligneux (Fig. 280 et 281, Pl. LIX), des corps résineux (Fig. 283), des spores <sup>(1)</sup> et des organismes végétaux de nature incertaine <sup>(2)</sup> (Fig. 288a et b, Pl. LX).

Les houilles cendreuses ou les schistes charbonneux ou bitumineux représentés par les différentes figures des planches citées précédemment se trouvent intercalés dans des veines appartenant aux divers types de charbons du Nord de la France. Il est donc démontré que les particules argileuses pouvaient se déposer sur les aires de dépôt où s'accumulaient les deux types de débris organisés (spores et cuticules, d'une part, débris de tissus ligneux, d'autre part) qui caractérisent respectivement les deux grands types d'accumulations végétales qui ont donné naissance aux houilles de cutine et aux houilles ligno-cellulosiques.

Le passage graduel des houilles aux roches stériles est un fait qui a été démontré par FAYOL ([225], p. 240 et 241, etc...) et qui est trop connu des mineurs et des géologues pour qu'il soit nécessaire d'en parler longuement ici où je me bornerai à rappeler que dans le Bassin houiller du Nord de la France il est d'observation assez courante. L'étude microscopique en lumière réfléchie des houilles cendreuses et des schistes vient confirmer ces faits d'observation et permet, de plus, de mettre en évidence les caractères du gisement des particules argileuses.

Les substances argileuses s'observent très rarement à l'état de remplissage des fentes et vides des houilles. Dans ce cas ce phénomène est d'ordre purement mécanique et s'est produit immédiatement après la formation du lit qui les contient et au cours du dépôt du lit superposé. La figure 285 (Pl. LIX) montre un lit de houille brillante (H) (= Vitrain) où le retrait, au cours du durcissement par dessiccation, a fait naître un certain nombre de fentes à peine obliques sur la verticale. Les particules argileuses du lit A, qui recouvre directement la houille amorphe, ont également comblé les vides de cette dernière. La formation des vides de retrait et leur remplissage par les substances argileuses sont des phénomènes quasi contemporains et en tous cas à peine postérieurs à ceux qui ont donné naissance au lit H. Ce remplissage conserve donc les caractères d'un phénomène primaire.

En résumé, l'étude microscopique des houilles, des houilles cendreuses, des schistes charbonneux et bitumineux et des schistes proprement dits montre que toutes ces roches combus-

(1). Antérieurement à l'utilisation de la méthode des surfaces simplement polies les meilleures figures de spores publiées avaient été obtenues à partir de schistes bitumineux. Voir à ce sujet : TWENHOFEL [658], Fig. 33, comparer en particulier cette figure avec celle des houilles où la présence de spores ne paraît pas douteuse telles que les figures 23, 24 et 29 du même ouvrage p. 269.

(2). Des corpuscules analogues à celui représenté sur les Fig. 288a et 288b ont été observés dans des lignites tertiaires et interprétés comme représentant des spores de champignons.

tibles ou stériles sont caractérisées par les mêmes débris organisés (spores, cuticules, corps résineux, débris de tissus ligneux) et contiennent en proportions variables les mêmes éléments minéraux d'origine détritique (particules d'argile). Dans les schistes le caractère transporté des éléments organogènes et minérogènes n'est mis en doute par personne. *Logiquement ce même caractère transporté ne peut être refusé à ces mêmes éléments lorsqu'ils se trouvent réunis dans les houilles cendreuses ou autres.*

## II

### LES SUBSTANCES CARBONATÉES

**Sidérose**,  $\text{CO}^3\text{Fe}$ . **Dolomie**,  $\text{CO}^3\text{Ca}, \text{CO}^3\text{Mg}$ . **Calcite**,  $\text{CO}^3\text{Ca}$ .

PLANCHES LVII, LVIII, LXI A LXIV

Les Carbonates rhomboédriques sont de toutes les substances minérales celles que l'on rencontre en plus grande abondance dans les couches de houille, ils y existent sous forme de concrétions, de lits (barres) ou d'imprégnations de masses végétales que les mineurs du Nord de la France désignent par le terme générique de « *Clayats* ». On les rencontre également dans les roches mixtes (schistes et grès bitumineux ou charbonneux) et dans les roches stériles (schistes et grès). L'espèce minérale la plus fréquente est la Sidérose ou carbonate de fer se présentant en masses compactes de couleur brune. Les analyses chimiques de certains nodules [383, 612] démontrent que le Calcium et le Magnésium peuvent remplacer isomorphiquement le Fer.

En *lumière réfléchie*, comme ils sont représentés sur différentes planches de cet ouvrage, les carbonates rhomboédriques susceptibles d'être rencontrés dans les houilles (Sidérose, Dolomie, Calcite) présentent des aspects très différents de ceux que l'on observe, en lames minces, au microscope par transparence. Par réflexion ces minéraux possèdent des teintes d'autant plus foncées qu'ils sont plus transparents, la transparence provoquant une absorption énergique du faisceau éclairant incident et une diminution d'intensité du faisceau réfléchi. Leurs teintes peuvent varier d'un gris très clair (Fig. 296 et 298, Pl. LXII) à un gris presque noir (Fig. 276, Pl. LVIII) et passer par toutes les teintes intermédiaires (Fig. 277 à 279, Pl. LVIII ; 290 à 294, Pl. LXI ; 295 et 297, Pl. LXII, 299 à 309, Pl. LXIII et LXIV). La détermination microscopique exacte des différentes espèces minérales en lumière polarisée réfléchie <sup>(1)</sup> nécessite l'emploi de mesures photométriques sur le détail desquelles je n'insisterai pas ici. Dans la détermination, en tant que carbonates des substances en question, j'ai eu en outre recours à des méthodes de contrôle qui ont consisté à étudier l'action d'acides à froid, à chaud et à l'ébullition.

Alors que les substances argileuses que j'ai étudiées précédemment sont des *éléments détritiques* résultant d'actions mécaniques (érosion et transport), les substances carbonatées des houilles et des autres roches houillères doivent leur origine à des phénomènes chimiques et

(1). Je me contenterai de renvoyer le lecteur que cette question intéresserait à l'excellent manuel de M. M. ORCEL et BERTHELOT [40] et au beau mémoire de M. SCHNEIDERHÖHN [551].

sont des *éléments concrétionnés*. Les modes de gisement des carbonates des houilles permettent de distinguer deux types très différents quant à leur origine.

A. — Les Carbonates que je considérerai comme ayant une *origine primaire* se sont individualisés, soit au cours de la formation du sédiment, soit pendant le développement des actions diagénétiques qui ont déterminé son durcissement. *Leur formation peut être considérée comme étant un phénomène essentiellement précoce.*

B. — Les Carbonates *d'origine secondaire* résultent, au contraire, de la cristallisation dans des vides préexistants de la houille de substances minérales transportées surtout par les eaux qui y circulent en profondeur. Le phénomène participe de celui plus général qui préside au remplissage des fentes des vides et des géodes des roches par des minéraux concrétionnés, *toujours postérieur au durcissement du sédiment combustible il peut encore se poursuivre de nos jours.*

### A. — Les Carbonates individualisés au cours des phénomènes de dépôt.

(Carbonates d'origine primaire).

PLANCHES LVII, LXI A LXIV

Les carbonates d'origine primaire des houilles peuvent avoir pris naissance dans des circonstances très différentes.

a. — Ils peuvent exister à l'état de cristaux, de grains de nodules ou de lits de carbonate pur ne contenant pas de débris végétaux.

b. — Ils peuvent, au contraire, imprégner des masses végétales ou contenir des débris végétaux.

#### a. — Cristaux, grains, nodules et lits de carbonates purs.

Ce premier groupe comprend toutes les masses carbonatées qui ne contiennent pas de débris organisés. Ces masses, qui se sont individualisées par simple acte de cristallisation dans une eau mère, peuvent se présenter sous l'aspect :

- 1° De cristaux ou de grains isolés ;
- 2° D'agrégats ou de concrétions arrondies formées par l'accolement d'un certain nombre de grains ou de cristaux ;
- 3° De lits plus ou moins réguliers, parfois glandulaires, constitués par l'association de nombreux cristaux ou de plusieurs concrétions.

#### 1° — CRISTAUX ET GRAINS ISOLÉS

Ces formes représentent les premiers stades d'individualisation des carbonates des houilles. Les carbonates forment alors, parfois, *des cristaux à contours géométriques nets* (Pl. LXI, Fig. 291 et 292) qui se présentent dans les sections polies sous l'aspect de *losanges* ou de *triangles équila-*

*tétraux*, polygones que l'on rencontre fréquemment dans les coupes de cristaux rhomboédriques<sup>(1)</sup>. Le plus souvent, les molécules ou les particules complexes des corps cristallisés se sont assemblées d'une façon plus compliquée que celle qui donne naissance aux cristaux simples. Ils forment alors des grains à contours plus ou moins arrondis, constitués par des particules qui se sont disposées sur plusieurs réseaux en donnant, par conséquent, naissance à des agrégats de cristaux (Pl. LXI, Fig. 293 et 294, Pl. LXII, Fig. 295 à 297, Pl. LXIII, Fig. 299 à 303) ou à des macles.

Les cristaux à formes extérieures géométriques ne se rencontrent guère que dans les lits de houille amorphe (h. brillante = Vitrain). Certains lits de cette variété de houille contiennent ces cristaux en si grand nombre qu'à l'œil nu ils prennent l'aspect caractéristique des barres de clayat à apparences lithoïdes et de teinte blonde ou brune. Certains de ces lits sont, en réalité, formés par de nombreux rhomboèdres cimentés dans une pâte végétale amorphe. L'échantillon représenté par la figure 290 (Pl. LXI) est constitué par des alternances de lits de houille brillante (H) (= Vitrain) et de couches carbonatées de ce type (Cf).

Les grains de carbonates, qui ne sont en dernière analyse que des concrétions de très petites dimensions, se rencontrent, le plus souvent, disséminés dans les lits de houille brillante (h. amorphe = Vitrain) (Pl. LXI, Fig. 293, 294, Pl. LXII, Fig. 295), mais s'observent aussi très fréquemment dans les lits de houille semi-brillante (Clarain) où ils voisinent avec les corps figurés végétaux (spores, cuticules, tissus ligneux) (Pl. LVII, Fig. 275 ; Pl. LXII, Fig. 297).

## 2° — NODULES CARBONATÉS

Dans certains cas, les cristaux ou grains décrits précédemment ont tendance à former des sortes de nids ou groupements au lieu de rester à l'état disséminé dans la pâte de la houille. Les cristaux ou les grains peuvent rester isolés, comme c'est le cas pour ceux représentés sur les figures 296a et 296b de la planche LXII, mais ils constituent fréquemment des agrégats à contours généralement sphériques ou sub-sphériques. (Pl. LXII Fig. 297).

Les gisements sont exactement les mêmes que ceux des grains ou cristaux isolés, ces nodules qui ne sont que des agrégats de ces mêmes cristaux ou grains se rencontrent le plus souvent dans les lits de houille brillante (Vitrain), mais peuvent être observés également dans les lits de houille semi-brillante (Clarain) ou de houille mate (Durain).

## 3° — LITS CARBONATÉS

Tous les lits de carbonate (barre de Clayat) ne présentent pas la structure complexe de ceux que j'ai décrits précédemment (lits formés de nombreux cristaux noyés dans une pâte humique). Beaucoup d'entre eux sont constitués uniquement par la substance minérale et l'examen de

(1). Ces aspects en losanges et en triangles équilatéraux sont ceux que présentent les sections de carbonates rhomboédriques en lames minces.

On peut comparer à ce sujet les figures de surfaces polies publiées dans cet ouvrage avec les microphotographies de lames minces suivantes :

LUCIEN CAYEUX. — [131], Pl. II Fig. 1 à 4 ; Pl. VII, Fig. 4 et 5 ; Pl. VIII, Fig. 3 à 5 ; Pl. IX, Fig. 2.

ALFRED LACROIX. — [370], T. III, p. 643, Fig. 2.

JACQUES DE LAPPARENT. — [382], Pl. XXIV, Fig. 2.

nombreux échantillons de houille permet de suivre, pas à pas, la formation de ces lits.

Dans certains cas, les nodules ou agrégats sphériques s'alignent suivant une direction et forment, alors, des sortes de lits glandulaires (Pl. LXII Fig. 297 Cf-Cf.). Lorsque la formation du carbonate a continué pendant un laps de temps plus long, les particules complexes ou les molécules continuant à s'agréger autour des nodules servant de centre d'attraction, ceux-ci n'ont pas tardé à se souder entre eux comme on peut l'observer en Cf<sub>2</sub> sur la même figure 297. C'est de cette manière que se sont formés *les lits massifs de Carbonate* analogues à celui représenté par la figure 298 (Pl. LXII) où la structure d'agrégat est particulièrement nette.

Ces lits se rencontrent interstratifiés dans la masse de la houille où ils semblent s'être déposés dans l'intervalle compris entre la formation de deux lits de houille successifs.

### b. — Carbonates imprégnant des masses végétales.

Les cristaux et les agrégats de cristaux de carbonate que j'ai décrits précédemment ne contiennent jamais dans leur masse de débris végétaux, mais se sont individualisés dans l'eau où ils ont cristallisé à côté de tels débris.

Les formations carbonatées que j'étudierai maintenant ont, au contraire, pris naissance dans la masse de *certain débris végétaux très poreux représentant toujours des fragments de tissus ligneux*.

#### 1° — FUSAINS CARBONATÉS

Les tissus ligneux (bois, sclérenchyme) transformés en houille mate fibreuse (Fusain) présentent souvent des cas de remplissages de leurs cavités par la houille amorphe (pâte) si communs dans les fragments de bois gélifiés. Parfois, les cavités cellulaires de certains Fusains sont remplies par des substances minérales qui peuvent être siliceuses, carbonatées ou sulfurées. Les remplissages carbonatés (Sidérose, Dolomie, Calcite) et sulfurés (Marcassite) sont les plus fréquents et expliquent alors les teneurs en cendres anormales des dits Fusains. Ce constituant, que l'on retrouve identique à lui-même et en proportions variables dans toutes les variétés de houille, présente parfois des teneurs en matières volatiles assez élevées tout en conservant sa propriété chimique essentielle : *l'absence de tout pouvoir agglutinant*. Alors que par leurs teneurs en matières volatiles ces fusains se rangeraient parmi les bonnes houilles à coke ils ne donnent pas de coke cohérent. Cette particularité s'explique par le fait que les matières volatiles mises en évidence par la distillation ne contiennent qu'un faible pourcentage d'hydrocarbures et sont surtout constituées, soit par l'anhydride carbonique, soit par l'anhydride sulfureux <sup>(1)</sup>. De tels Fusains qui se révèlent toujours riches en cendres sont, néanmoins, en tant que roche combustible, de véritables anthracites.

On observe tous les passages entre les Fusains normaux, pauvres en cendres, où le remplissage des cellules ou celui des vides qui résultent de leur cavités est surtout constitué par des hydrocarbures et ceux où la masse de substance minérale carbonatée l'emporte nettement sur la substance végétale. Les premiers types de Fusain sont noirs, à éclat soyeux, très tendres et

(1). J'ai signalé le rapport qui semble toujours exister entre les hautes teneurs en matières volatiles de certains fusains et leurs hautes teneurs en cendres. Voir : [202].

pulvérulents ; le plus souvent, ils ne résistent pas à l'action du canif et même de l'ongle. Les Fusains du second type, fortement imprégnés de substances minérales, sont très durs et mettent rapidement hors d'usage la scie la mieux trempée <sup>(1)</sup>. Certaines variétés ressemblant à des Fusains normaux ont des densités plus élevées. Les variétés riches en carbonate ont des aspects qui se rapprochent de ceux des barres de Clayat.

Les Fusains carbonatés présentent les mêmes modes de gisement que les Fusains normaux.

### 2° — LITS A DÉBRIS VÉGÉTAUX ET A CIMENT CARBONATÉ

Un type de ces lits à ciment carbonaté est représenté par les figures 304 à 309 de la Pl. LXIV où l'on voit de nombreux débris de tissus ligneux enrobés dans une pâte minérale. Ces débris de tissus ligneux peuvent être d'assez grandes tailles (Fig. 304 et 305, T<sub>1</sub>) et rappeler l'aspect des fragments que l'on trouve dans les houilles normales <sup>(2)</sup>. Le plus souvent leur fragmentation est plus accentuée comme dans le cas du débris T<sub>1</sub> (Fig. 304) dont l'aspect général est identique à celui qui existe dans la houille de la figure 185 (Pl. XXXV). Le fragment T<sub>1</sub> (Fig. 306) a son équivalent dans celui que montre dans sa partie supérieure la même figure 185. Ces lits à ciment carbonaté peuvent également contenir des sections longitudinales de cellules (Fig. 306, T<sub>1</sub>) <sup>(3)</sup> ou des corps étoilés (bogenstruktur) représentés par les figures 157 à 177 (Pl. XXXI à XXXIV).

Dans ces lits les carbonates forment la pâte qui est venue cimenter les débris de tissus ligneux et qui a réalisé le milieu fixateur qui les a soustraits à l'action des organismes destructeurs.

Dans ce cas particulier les substances minérales carbonatées se sont substituées au ciment organique des houilles normales et ont permis la fossilisation des débris organisés.

Ces lits à ciments carbonatés ont l'aspect des barres de clayats ordinaires <sup>(4)</sup>.

### 3° — NODULES CARBONATÉS A STRUCTURES CONSERVÉES

Au point de vue morphologique c'est à la suite des Fusains carbonatés et des lits à ciments carbonatés que se placent naturellement les nodules à structures conservées désignés à peu près universellement sous le nom de *Coal-balls*, car quelle que soit l'opinion qu'on puisse se faire sur leur origine ces nodules représentent toujours des cas de pétrification de masses ligneuses.

Malgré de longues et patientes recherches de tels coal-balls n'ont jamais été trouvés jusqu'ici dans le Bassin houiller du Nord de la France et je ne les citerai que pour mémoire. Il convient du reste de faire remarquer que de tels nodules n'ont été trouvés, quant à présent, que dans un très petit nombre de veines de houille dont le toit est un dépôt marin. Pour la description de ces nodules le lecteur voudra bien se reporter aux ouvrages spéciaux qui ont été publiés sur cette question [383 et 612].

(1). Cette grande dureté doit être attribuée en partie aux grains de sulfure de fer (marcassite) qu'ils renferment.

(2). Comparer, en particulier, ces tissus ligneux des figures 304 et 305 à ceux des figures 151, 152 (Pl. XXIX), 172 (Pl. XXXIV), 192, 193 (Pl. XXXVI), etc...

(3). Comparer ce débris de tissu ligneux à celui de la Fig. 170, Pl. XXXIII.

(4). C'est vraisemblablement parmi ces lits que l'on doit placer les plaquettes lithoïdes qui ont été décrites sous le nom de *plaques subéreuses* par C. EG. BERTRAND [66] qui les avait observées dans la Veine Marquise de la Concession d'Hardin-ghen (Boulonnais).



En résumé, l'étude microscopique en lumière réfléchie des formations carbonatées interstratifiées dans les houilles montrent que ces substances minérales se rencontrent dans les charbons paléozoïques sous des formes très diverses constituant tous les termes de passage entre les *cristaux* et *grains microscopiques* et les *nodules* et *lits massifs observables à l'œil nu* et pouvant atteindre, dans certains cas, d'assez grandes dimensions. Toutes ces formes s'observent également, selon toute vraisemblance, dans les schistes et les grès houillers où les dites concrétions sont plus fréquentes que dans les charbons.

J'ai pu en même temps montrer que *sous des aspects macroscopiques identiques* les lits ou barres de clayat *présentent trois types de structure très différents*.

*a.* — Certains lits sont formés par de nombreux cristaux ou grains de carbonate cimentés par une *pâte organique* d'origine végétale identique au ciment des houilles. (Fig. 290, Pl. LXI).

*β.* — D'autres lits sont constitués uniquement par des *agrégats de cristaux* de carbonate étroitement juxtaposés (Fig. 298, Pl. LXII).

*γ.* — D'autres, enfin, résultent de l'*imprégnation* de masses végétales (masses lenticulaires de Fusain) ou de la *cimentation* de nombreux débris végétaux (Fig. 304 à 309, Pl. LXIV).

Dans le premier cas (*a*) les substances carbonatées sont les équivalents sédimentaires des débris végétaux organisés, dans les deux autres (*β* et *γ*) ils jouent des rôles identiques à ceux des pâtes colloïdales et organiques des houilles normales.

## B. — Les Carbonates remplissant les vides des Houilles.

(Carbonates d'origine secondaire).

### PLANCHE LVIII

Les houilles contiennent de nombreux vides résultant des phénomènes de retrait qui se sont manifestés au cours du durcissement des masses plastiques dont elles dérivent [180, 185, etc...]. Elles sont, en outre, divisées par des diaclases et des petites failles provoquées par les phénomènes de compression qui ont souvent déterminé dans leur masse le développement d'une véritable schistosité ([199, 211] et chapitre XII, Fig. 310 à 324, Pl. LXV).

Dans la grande majorité des cas ces fentes et cavités, d'origines et d'importances très diverses, sont vides de toutes substances solides (Fig. 266 à 275, Pl. LVI et LVII). Elles peuvent, néanmoins, présenter dans certains cas particuliers des remplissages de substances minérales parmi lesquelles les carbonates jouent un rôle prépondérant.

Les figures de la planche LVIII montrent des exemples de remplissage des vides des houilles par du carbonate de fer.

Dans la partie supérieure de la figure 276 le carbonate remplit une fente horizontale dont deux parties occupent des niveaux différents par suite du jeu d'une petite faille. Le tracé de cette faille microscopique est nettement indiqué par un vide presque vertical rempli également par la sidérose. Dans la région inférieure de cette même figure un carbonate rhomboédrique comble un vide important et irrégulier contenant des noyaux de houille dont l'un (celui de

droite) est complètement isolé au milieu de la masse minérale, tandis que l'autre se rattache à la masse de houille surplombante.

La figure 277 montre le remplissage par le carbonate de fer d'une fente horizontale divisée en plusieurs tronçons par le jeu de trois failles ( $ff'$ ,  $f_1$ ,  $f_2$ ). La substance minérale forme également de minces filonnets ( $Cf_1$ ,  $Cf_2$ ) dans des vides de décollement plus étroits.

Dans la figure 278 la sidérose s'est déposée dans une fente oblique par rapport au plan de stratification. Le petit filon concrétionné ( $Cf$ ) coupe ici en diagonale le champ de la microphotographie qui contient dans sa partie centrale l'extrémité d'une lame de tissu ligneux fortement gélifié ( $Tl$ ).

Dans la figure 279 l'on peut observer des remplissages de fentes par deux types de carbonates. Un carbonate massif, homogène, remplit une fente de retrait ( $Cf$ ) dont une partie est sensiblement perpendiculaire à la stratification indiquée par l'étalement des menus débris de bois gélifié  $Tl$ , tandis que l'autre partie est nettement oblique sur cette même direction. Un carbonate grenu qui représente, vraisemblablement, un stade évolutif dans la genèse des remplissages massifs comble une autre fente de retrait  $Cf'$ .

Les phénomènes du remplissage des vides des houilles par des carbonates résultent d'actions qui se sont développées postérieurement au durcissement de la roche combustible et sont identiques à tous ceux que l'on observe dans les roches traversées par des eaux chargées de bicarbonates solubles. Il s'agit ici de phénomènes secondaires qui ont pu se produire grâce à certaines particularités de structure des charbons paléozoïques (présence de vides de retrait) sur lesquelles je reviendrai dans le chapitre suivant. La présence de ces carbonates dans ces cavités a, néanmoins, un intérêt particulier, *car elle démontre l'ancienneté de ces vides de retrait* que certains pourraient être tentés de considérer comme résultant surtout d'une fragmentation de la roche au cours du débitage et du polissage.

### C. — Genèse des Carbonates des houilles.

Dans ce développement je ne rappellerai que pour mémoire le mode de formation des carbonates des houilles que l'on trouve à l'état de remplissage de fentes ou de vides préexistants. Dans ce cas, il s'agit d'un phénomène d'ordre purement minéralogique qui n'est pas particulier aux combustibles paléozoïques et qui se développe normalement dans n'importe quelle roche traversée par des eaux minéralisées. La question de la formation des filons et des géodes concrétionnés est trop connue pour qu'il soit nécessaire de l'exposer ici. Je me bornerai à signaler le fait que la grande majorité des vides et fentes de retrait des houilles sont exemptes de tout remplissage ou tapissage de minéraux, fait qui semble indiquer que la minéralisation secondaire des charbons est un phénomène qui n'a jamais revêtu les caractères d'une grande intensité ni d'une grande généralité.

La question du mode de formation des carbonates individualisés au moment même du dépôt des roches combustibles présente, au contraire, un intérêt particulier du fait qu'elle est connexe à celle du mode de formation des couches de houille elles-mêmes. Les faits d'observation mis en évidence par l'étude des carbonates d'origine primaire vont nous permettre de préciser les circonstances dans lesquelles se sont accumulés les dépôts organiques qui ont été les points de départ des divers types de houilles.

### 1° — Genèse des cristaux, grains, concrétions et lits carbonatés.

Dans les lits contenant en même temps des débris organiques (houille semi-brillante = Clarain ; Fig. 275, Pl. LVII ; 297, Pl. LXII) les concrétions et grains de carbonate pur présentent, comme les cristaux, des modes de gisement identiques à ceux des débris végétaux. Comme ces derniers ils sont nettement stratifiés et étalés parallèlement à une direction constante, celle du plan de stratification du lit qui les contient. Ce même caractère s'observe encore dans les lits de houille dépourvus de débris végétaux (houille brillante = Vitrain, Fig. 290 à 293, Pl. LXI ; 295, Pl. LXII) où leur étalement et leur mode de dissémination sont analogues à ceux que présentent les spores, les cuticules, les corps résineux dans les lits de houilles semi-brillantes (Clarain) et mates (Durain).

Tous ces caractères conduisent à admettre que la formation des cristaux, des grains et des agrégats est contemporaine du dépôt des substances végétales et que ces diverses variétés de concrétions carbonatées, constituées par de la substance minérale pure, *sont du type de celles qui prennent naissance à la surface des sédiments* <sup>(1)</sup> au cours des phénomènes de dépôt eux-mêmes.

En ce qui concerne les houilles l'exactitude de cette manière de voir est démontrée par des faits d'observation que révèle l'examen microscopique en lumière réfléchie de certains lits où les concrétions carbonatées se trouvent stratifiées dans une pâte organique contenant de nombreuses particules d'argile. Les différentes figures de la planche LXIII montrent le mode de gisement des concrétions carbonatées dans ce cas particulier observable dans une veine d'anthracite de la concession de Vicoigne.

Les figures 299 et 300, exécutées à grossissement moyen ( $\times 55$ ) montrent les positions qu'occupent les masses carbonatées dans les différents lits superposés. Dans la Fig. 299 la concrétion Cf déforme un mince filet de houille brillante sous jacent, elle est recouverte par le lit riche en particules argileuses sus jacent et donne à l'ensemble des deux lits schisteux séparés par le filet de houille amorphe une allure glandulaire. La concrétion Cf<sub>1</sub> déforme et déprime le lit schisteux inférieur et se trouve recouverte par le lit de houille amorphe qui occupe la partie supérieure de la figure. Une troisième concrétion Cf<sub>2</sub> se trouve isolée au milieu de la houille amorphe (Vitrain) à la surface d'un mince filet de particules argileuses. Cette disposition montre clairement que les trois concrétions considérées se sont formées à trois moments différents, Cf s'étant individualisé avant le dépôt du lit schisteux supérieur, Cf<sub>1</sub> aussitôt après ce dépôt et Cf<sub>2</sub> au cours de la formation du lit de houille brillante. Le lit de houille occupant la partie inférieure de la figure montre également à deux niveaux différents deux petits grains de carbonate placés respectivement dans le voisinage des bords droit et gauche de la microphotographie. La Fig. 300 permet de reconnaître la présence à cinq niveaux différents de grains de carbonate disséminés dans des lits argileux.

Les figures 301 à 303, exécutées à plus forts grossissements ( $\times 250$ ) permettent de mieux se rendre compte des rapports existant entre les grains et concrétions carbonatés et les lits qui les contiennent.

La Fig. 301 montre que le grain minéral qui occupe le milieu du champ a provoqué la dépression de la couche sous-jacente « 1 » constituée par un ensemble de lits argileux et de

(1). E. HAUG. — [303], I, p. 120.

filets de houille brillante. La déformation des lits élémentaires de la couche « 1 » prouve que le grain minéral s'est formé à un moment où le sédiment était encore plastique. L'allure de la surface inférieure du lit de houille brillante « 2 » qui s'incurve au-dessus de la masse minérale démontre l'antériorité de cette masse qui existait avant le dépôt du lit en question.

La Fig. 302 montre deux concrétions carbonatées ( $C_f$ ,  $C_{f_1}$ ) qui se sont individualisées au cours du dépôt d'un lit argileux et dont l'une ( $C_{f_1}$ ) a comprimé la surface d'un lit de houille brillante ( $P$ ), déformation qui implique forcément que ce dernier lit n'était pas encore durci au moment du dépôt des particules argileuses ( $A_1$ ) et de la cristallisation de  $C_{f_1}$ .

Dans la Fig. 303 il est évident que la concrétion  $C_f$  s'est individualisée avant le dépôt du lit « 3 », tandis que  $C_{f_1}$  n'a cristallisé qu'après le dépôt de ce même lit qu'elle déforme. Quant à la concrétion  $C_{f_2}$  contenue dans le lit schisteux « 1 » elle montre bien l'allure glandulaire que prennent les lits élémentaires assez minces qui contiennent ces formations minérales accidentelles, allure glandulaire qui est schématisée par la figure 60<sup>t</sup> ci-contre.

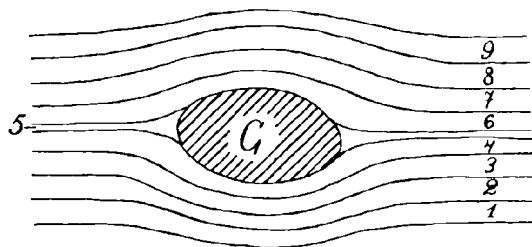


FIG. 60<sup>t</sup>. — Figure schématique montrant le mode de gisement des grains et concrétions carbonatées. — Ce schéma montre bien que la concrétion  $C$  a constitué un apport de substance anormal et localisé dans le lit 5, qu'elle a déformé par compression, les lits 1 à 4 encore plastiques et obligé les lits 6 à 9 à s'incurver au-dessus d'elle (d'après les Fig. 299 à 303, Pl. LXIII).

En résumé, l'ensemble des figures de la planche LXIII démontre en même temps que la houille anthraciteuse en question est une roche nettement stratifiée et que les grains de carbonate se formaient au cours des phénomènes de dépôt à la surface des différents lits élémentaires superposés qui sont caractérisés, dans ce cas particulier, par l'absence ou la présence d'éléments détritiques transportés (particules argileuses) qui se trouvent, du reste, mélangés à des débris de tissu ligneux ( $TL$ , Fig. 302, Pl. LXIII) identiques à ceux des houilles normales.

Or, comme on peut s'en rendre compte en comparant les figures 299 à 303 (Pl. LXIII), d'une part, aux figures 275 (Pl. LVII), 290 à 294 (Pl. LXI) 295 à 297 (Pl. LXII), d'autre part, les grains carbonatés des houilles proprement dites présentent les mêmes caractères de gisement et se trouvent, en particulier, disséminés à différents niveaux des lits élémentaires qui les contiennent.

Il n'est donc pas douteux que dans les houilles les lits, concrétions et grains de carbonates purs se formaient, comme les cristaux isolés, à la surface des dépôts organiques riches ou non en débris végétaux qui ont été les points de départ des lits élémentaires de houille que j'étudierai plus loin sous le nom de constituants macroscopiques des houilles.

La formation des cristaux, des grains, des concrétions et des lits de carbonates purs représentent différents stades de développement d'un même phénomène arrêté à divers moments de son évolution par le dépôt de couches sus-jacentes protectrices.

L'individualisation des carbonates sous forme de cristaux ou de grains correspond aux cas où, la solution étant peu concentrée en substances minérales dissoutes, les cristaux croissaient lentement ; cette croissance se trouvant subitement et définitivement enrayée par la prise de la pâte colloïdale qui les enrobe. Ces cristaux ou ces grains sont donc en quelque sorte fossilisés,

comme les débris végétaux, dans l'état où ils se trouvaient au moment de la formation de ce ciment plastique qui avait pour effet de rendre beaucoup plus difficiles, sinon impossibles, les réactions qui se développaient normalement dans les eaux de la lagune houillère. L'existence de cristaux simples à contours géométriques nets démontre que la prise de cette pâte devait se produire de façon brusque, comme je l'ai dit précédemment, une prise lente et progressive entraînant la formation, par suite de viscosités croissantes de la solution, non plus des cristaux simples, mais des macles ou des agrégats de cristaux.

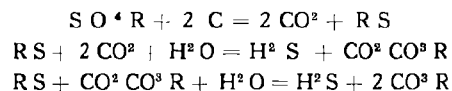
Lorsque, au contraire, la solution humique était très riche en substances minérales dissoutes sous forme de sulfates de calcium, de magnésium ou de fer <sup>(1)</sup>, les réactions plus rapides donnaient naissance à des quantités plus importantes de carbonates s'agrégeant sous forme de nombreux cristaux et se disposant en nodules ou en lits à la surface des sédiments précédemment formés.

Sous toutes ces formes les carbonates ne représentent donc dans les lits de houilles que des corps figurés particuliers d'origine minérale et résultant de la cristallisation spontanée de substances dissoutes. Ils constituent, dans tous les cas au point envisagé, un apport de substance relativement considérable ; apport qui peut être comparé à celui d'un corps résineux ou d'une masse lenticulaire ligneuse de volume équivalent. Les particularités de gisement sont les mêmes et peuvent être résumées très brièvement de la façon suivante : La concrétion minérale, comme le corps résineux, a déprimé par son propre poids les couches sous jacentes précédemment formées, mais encore plastiques, et a obligé les couches qui s'individualisaient postérieurement à s'incurver au-dessus d'elle. Cette particularité explique l'allure glandulaire des lits de houille renfermant des nodules à structures conservées, allure qui se retrouve identique dans le cas de concrétions de petite taille, quasi microscopiques comme le montrent particulièrement bien les figures 299 à 303 (Pl. LXIII).

Dans tous les cas envisagés les circonstances favorables aux réactions indiquées précédemment se trouvaient réalisées et grandement facilitées par la présence d'un milieu aqueux. Le carbone nécessaire à la réduction des sulfates pouvait être fourni par la solution ou la pseudosolution végétale riche en hydrocarbures. Ce carbone rendait possible la première réaction qui, une fois réalisée, provoquait les deux autres <sup>(2)</sup>. Les conditions étaient alors sensiblement celles de l'expérience de STOCKS [607] qui opérait en vase clos, puisque en supposant (comme cela est du reste nécessaire pour expliquer la fossilisation et la conservation des débris végétaux) que la lame d'eau surplombante étant assez épaisse, on se trouvait en milieu privé d'oxygène.

(1). En admettant comme processus de formation des carbonates les réactions classiques de MURRAY, IRWINE, RENARD et STOCKS [453, 454, 607].

(2). D'après MURRAY et RENARD [454], MURRAY et IRWINE [453] et STOCKS [607] ces réactions peuvent être schématisées de la façon suivante :



R étant le calcium, le magnésium, le fer ou des proportions variables de ces trois métaux.

## 2° — Genèse des carbonates imprégnant les masses végétales.

L'individualisation de ces carbonates s'explique facilement par les considérations suivantes :

Toutes les masses végétales qui ont été minéralisées par les carbonates sont presque toujours constituées par des *tissus poreux* dont les masses spongieuses pouvaient être facilement imprégnées par les solutions riches en sulfates. D'autre part, ces masses sont formées presque exclusivement par des tissus ligneux (bois, sclérenchyme) particulièrement riches en *carbone fixe* <sup>(1)</sup>.

Les circonstances favorables au déclenchement de la réaction initiale se trouvaient donc réunies et devaient faire des masses ligneuses en suspension dans les eaux de la lagune houillère ou reposant sur des couches de houille précédemment formées des *centres d'attraction* déterminant finalement leur minéralisation partielle et parfois totale par imprégnation de carbonates suivant le cycle de réactions que j'ai rappelé dans le développement précédent,

Lorsque de tels débris ligneux existaient sur les aires de dépôt la cristallisation des carbonates avait surtout lieu par minéralisation de leurs masses, tandis que lorsque ces tissus spongieux faisaient défaut ces mêmes carbonates s'individualisaient surtout sous forme de cristaux, de grains, de concrétions ou de lits de substances minérales pures.

Quant à la genèse des pâtes carbonatées de certains lits (Pl. LXIV) elle s'explique exactement de la même façon que l'imprégnation des masses de Fusain, les mêmes débris de tissus ligneux fournissant le carbone nécessaire à l'amorçage de la réaction initiale <sup>(2)</sup>.

## Conclusions de l'étude microscopique des Carbonates des houilles.

En résumé, tous les faits d'observation exposés précédemment montrent que toutes les formations carbonatées (cristaux, grains, concrétions, lits, ciments carbonatés) que j'ai pu soumettre à l'examen microscopique étaient déjà individualisées au moment de la coagulation de la pâte organique des lits de houille où on les observe et représentent soit des corps figurés très spéciaux d'origine minérale, soit des cas particuliers de fossilisation des tissus ligneux, soit encore, dans certains cas plus rares, des formations équivalentes aux lits de houilles brillante (*Vitrain*), semi brillante (*Clarain*) et mate (*Durain*).

Le mode de formation de toutes ces substances carbonatées doit être rapproché de celui de la pâte ou houille amorphe qui forme à elle seule toute la masse des lits de houille brillante et le ciment des lits de houille semi-brillante et de houille mate. La genèse par cristallisation

(1). Ceci résulte de l'ensemble de mes recherches qui ont montré : 1° — que les combustibles ligno-cellulosiques sont plus riches en carbone fixe que les combustibles riches en cutine [197] — 2° que le Fusain est dans toutes les variétés de houille un anthracite particulier d'origine ligneuse [202].

(2). C'est peut-être aussi de cette façon que l'on pourrait expliquer la genèse des nodules à structures conservées (*Coalballs*) en supposant que dans leur cas particulier et en quelque sorte sporadique (puisqu'ils ne s'observent que dans un très petit nombre de points des veines de houille à toit marin) le centre d'attraction a été constitué par des feutrages de végétaux ; feutrages de végétaux représentant des parties de sol de végétation amenés par flottage sur les aires de dépôt des veines de houille en question à l'état de radeaux pouvant provenir d'assez loin. L'existence de tels radeaux observée de nos jours dans les régions tropicales a été rappelée par H. POTONIE [476].

des cristalloïdes que sont les carbonates est l'équivalent de la *genèse par coagulation* des colloïdes d'origines végétales en solution ou en pseudo-solution dont la prise, sous forme de gels enrobant les débris organisés ou les particules ou concrétions minérales, a donné successivement aux différents lits constitutifs d'une veine de houille leur individualité propre.

D'autre part, l'existence de lits à débris végétaux à ciment carbonaté susceptible de se substituer dans certains cas au ciment organique des houilles peut être considéré comme une indication que cette pâte ou substance fondamentale de mes publications antérieures s'est bien individualisée comme je l'ai toujours admis [180] par coagulation de substances colloïdales en pseudo-solution dans les eaux de la lagune houillère.

Désireux de ne faire état que de faits d'observation précis et d'éviter toute hypothèse ne s'appuyant pas sur de tels faits, *je n'ai pas envisagé comme étant possible la formation de concrétions carbonatées par imprégnation de couches de houille antérieurement formées*. Comme le montre l'examen microscopique et en particulier l'étude des vides de la houille, que j'aborderai dans le chapitre suivant, la nature colloïdale et le caractère massif d'un bloc de houille non fissuré conduit à admettre que cette roche combustible, imperméable par nature, ne se laisse pénétrer par l'eau que grâce aux fissures qui la divisent. Ce caractère (imperméabilité par nature) a dû se manifester d'une façon très précoce, car il ne paraît pas douteux que les masses colloïdales plastiques initiales qui durcissaient par perte d'eau <sup>(1)</sup> présentaient à la pénétration des solutions minéralisantes une grande résistance. Cette résistance devait être d'autant plus efficace que ces solutions minéralisantes trouvaient dans les vides de retrait des houilles les espaces nécessaires où les minéraux formés pouvaient se déposer facilement comme le montrent les microphotographies de la planche LVIII.

En dernière analyse, tous les faits d'observation précis actuellement acquis conduisent à admettre que toutes les formations carbonatées que j'ai pu observer au microscope dans la masse des houilles que j'ai étudiées *sont du type des concrétions formées à la surface des sédiments au cours des phénomènes de dépôt* et que la circulation d'eaux minéralisantes dans la masse fissurée des veines de houille aboutit à un phénomène très différent de celui de la pétrification de la roche combustible *puisqu'il consiste en un remplissage, par les carbonates, de vides préexistants*.

### III

## LES SUBSTANCES SULFURÉES ET SULFATÉES

Sauf de rares exceptions ces substances n'existent dans les houilles, du moins à des états décelables au microscope ou à l'œil nu, qu'en quantités beaucoup moins importantes que les substances carbonatées. Dans les veines riches en sulfure de fer telles que les veines à toit marin, ce minéral est à un état de division tel qu'il n'est pas observable au microscope. C'est du reste cet état de division extrême qui facilite son altération et provoque la destruction rapide de blocs de charbon en apparence très compacts et très cohérents. Je décrirai successivement les substances sulfurées et sulfatées.

(1). Ce fait est mis en évidence par l'étude des phénomènes de retrait que nous aborderons dans le chapitre suivant.

## A. — Les Minéraux sulfurés.

### Pyrite et Marcassite.



Les substances sulfurées se présentent dans les houilles sous les deux formes du bisulfure de fer. Comme l'ont fait remarquer M. A. LACROIX ([370], T. II, p. 597 et 649) et M. CAYEUX ([131], p. 269 à 271) la distinction de la Pyrite cubique et de la Marcassite orthorhombique n'est possible dans les houilles, comme dans toutes les autres roches sédimentaires, que lorsque l'on se trouve en présence de cristaux dont la symétrie peut être déterminée. Or, les sulfures des charbons se présentent presque toujours en grains arrondis sans contours géométriques nets ou en minces pellicules tapissant les parois de certains vides qui ne fournissent aucune indication sur leur symétrie cristalline. La structure fibreuse que montrent certains enduits, que l'on serait tenté d'attribuer à première vue à la Marcassite, n'appartient pas en propre à la substance minérale qui ne fait que mouler exactement les surfaces compliquées de certains clivages des houilles (Fig. 320 et 322, Pl. LXV). Dans la grande majorité des cas il m'a donc été impossible de déterminer à quelle forme du bisulfure de fer appartenaient les grains ou enduits que je décrirai, leurs faibles dimensions et leur mélange intime avec la houille ou d'autres minéraux ne permettant pas d'effectuer les prises d'essais nécessaires à la détermination précise de la densité.

Le seul caractère spécifique que l'on serait tenté d'utiliser, la plus grande altérabilité de la Marcassite, ne peut guère être employé ici où comme dans les cas cités par M. A. LACROIX ([370], T. II, p. 649) la division accentuée des deux formes cubique et orthorhombique du bisulfure de fer explique leur facile altération dans des fentes qui facilitent l'accès d'un fluide oxydant (eau ou air).

La représentation des sulfures de fer en surfaces polies se heurte à une difficulté technique qui fait que ces minéraux ne figurent que très rarement sur les microphotographies de cet ouvrage. Ces substances opaques et à éclat métallique vif réfléchissent si énergiquement le faisceau lumineux éclairant qu'il en résulte des halos du plus mauvais effet dont les figures 309 (Pl. LXIV), 317, 318 et 320 (Pl. LXV) donnent une juste idée. Sur ces figures le bisulfure de fer apparaît sous forme de taches claires masquant en partie la structure.

En lumière réfléchie la Pyrite et la Marcassite ont un éclat métallique très vif et possèdent des teintes voisines du jaune laiton.

Comme les carbonates, dont ils représentent peut-être un stade de formation, les bisulfures de fer peuvent avoir dans les houilles des origines primaires ou secondaires.

#### 1° — Les sulfures de fer individualisés au cours des phénomènes de dépôt.

*(Bisulfures d'origine primaire)*

Ce mode de formation qui est très fréquent dans toutes les roches sédimentaires <sup>(1)</sup> s'observe très souvent dans les houilles où les bisulfures de fer existent en grains généralement de très petites tailles.

(1). Voir : L. CAYEUX, [131], p. 269 à 271.  
A. LACROIX, [370], T. II, p. 593.



Ces grains qui sont très abondants dans certains Gayets (Cannel-Coals) sont plus rares dans les houilles, ils présentent exactement les mêmes caractères de structure et de gisement que les grains carbonatés que j'ai décrits précédemment. On les rencontre indifféremment dans la pâte de certaines houilles (Py, Fig. 190, Pl. XXXVI), dans la substance de remplissage des cellules des tissus ligneux (Py, Fig. 117, Pl. XXIII) et dans le ciment carbonaté de certains lits à débris de tissus ligneux (Py, Fig. 309, Pl. LXIV) ; caractères qui montrent bien que la Pyrite et la Marcassite s'individualisaient dans la masse des houilles dans des conditions identiques où cristallisaient les carbonates.

Ces grains de sulfure de fer peuvent former des agrégats. (Py, Fig. 190, Pl. XXXVI) montrant, aux dimensions près, <sup>(1)</sup> l'aspect en boules hérissées de pointements octaédriques des concrétions de Marcassite.

Les sulfures de fer imprègnent également certaines masses de tissus ligneux transformées en houille mate (Fusain) qui acquièrent de ce fait une grande dureté et de fortes densités. Ces mêmes minéraux se rencontrent aussi très fréquemment à l'état de grains clairs et brillants disséminés dans la masse des carbonates remplissant les cavités cellulaires de certains tissus ligneux (Fig. 190, Pl. XXXVI) ou qui forment des lits ou concrétions de substances minérales sans débris végétaux. C'est à la présence de ces grains de Pyrite ou de Marcassite enchassés dans leur masse que beaucoup de concrétions ou de barres de clayat doivent leur grande dureté <sup>(2)</sup>, grande dureté qui, comme je l'ai signalé plus haut, s'observe surtout au cours des opérations de débitage par la mise hors d'usage des scies à métaux les mieux trempées.

Un fait remarquable et fréquent est l'association constante des bisulfures de fer et des carbonates de fer (Sidérose) d'origine primaire. La présence des grains de Pyrite et de Marcassite dans la masse de toutes les formations carbonatées individualisées dans les houilles au cours des phénomènes de dépôt semble bien indiquer que la formation des sulfures représentait un stade intermédiaire de la genèse des carbonates et vient ainsi vérifier, en ce qui concerne les charbons paléozoïques, l'exactitude des réactions de MURRAY, IRWINE [453] et RENARD [454] qui ont trouvé dans les synthèses de STOCKS [607] une confirmation expérimentale.

En résumé, les bisulfures de fer d'origine primaire présentent dans les houilles les mêmes modes de gisement que les carbonates rhomboédriques. Ils sont généralement moins fréquents que ces derniers minéraux et leurs grains ou leurs lits sont, en règle générale, de plus petites dimensions que les grains ou lits de Sidérose, de Dolomie ou de Calcite. Très fréquemment les grains de Pyrite ou de Marcassite se trouvent disséminés dans des masses carbonatées.

Dans les roches sédimentaires particulières que sont les houilles, les sulfures de fer présentent donc exactement les mêmes caractères morphologiques et de gisement que dans les roches sédimentaires ordinaires où ils ont été décrits par M. L. CAYEUX <sup>(3)</sup>.

(1). La Microphotographie en question a été exécutée à 1.020 diamètres.

(2). La dureté des carbonates des houilles est toujours inférieure à celle de l'acier et oscille entre 2,5 et 4. (Calcite, D=3 ; Sidérose, D = 2,5 à 4 ; Dolomie, D = 3,5 à 4), tandis que celles des deux formes du bisulfure de fer sont beaucoup plus élevées et supérieures à la dureté des aciers ordinaires (Pyrite, D = 6 à 6,5 ; Marcassite, D, 6, à 6,5).

(3). Voir en particulier [131], p. 269 à 271.

## 2<sup>o</sup> — Les sulfures de fer remplissant les vides des houilles.

(*Bisulfures d'origine secondaire*).

Ces minéraux se rencontrent très fréquemment à l'état de remplissage plus ou moins complet des fentes des houilles. Le fait a été notamment signalé par M. A. LACROIX ([370], T. II, p. 597) qui a rappelé que c'est à la présence de minces placages de Pyrite à aspect irisé, tapissant les diaclases du charbon, que la « Veine bleue » de la Concession de l'Escarpelle doit son nom. Au cours de mes recherches j'ai été amené à observer fréquemment des faits analogues que je rappellerai brièvement, les phénomènes de cristallisation plus ou moins tardive de minéraux secondaires dans les diaclases de la houille étant surtout intéressants au point de vue minéralogique pur et n'offrant dans la question de la genèse des charbons qu'un intérêt beaucoup moindre.

C'est surtout au cours des recherches qui avaient pour principal but l'étude des cassures particulières des houilles [199-205 et 211] que j'ai été amené à observer de nombreux exemples de remplissage de fentes par la Pyrite ou la Marcassite. Les compressions auxquelles certaines veines de houille ont été soumises postérieurement à leur dépôt ont déterminé très fréquemment dans leur masse le développement d'un ou plusieurs délits schisteux générateurs de cassures particulières (cassures œillée, conchoïdale, en *cone in cone*, fibreuse, etc...). Assez souvent les surfaces à cassures spéciales correspondent à des vides de décollement ou de glissement qui constituent des diaclases très étroites où sont venues cristalliser diverses substances minérales.

La Pyrite et la Marcassite ont formé aussi dans ces fentes très fines des houilles de très minces placages qui n'ont généralement pas de solution de continuité, les sulfures de fer s'observant par place sur une cassure qui peut être, en majeure partie, dépourvue de tout enduit minéral. Des enduits discontinus de ce genre s'observent aussi bien dans le cas des surfaces de cassures en *cone in cone* (Fig. 320, Pl. LXV) fibreuses (Fig. 322), conchoïdales (Fig. 317) ou œillées (Fig. 310). A la surface des cassures en *cone in cone* ou fibreuses les enduits de bisulfure de fer offrent souvent un aspect fibreux qui ne leur appartient pas en propre, le minéral ne faisant que mouler très exactement une texture que l'on observe dans la houille elle-même là où il n'existe aucun remplissage, soit par suite de l'étroite juxtaposition des deux surfaces schisteuses, soit par absence de minéralisation. Dans certains cas, les sulfures de fer forment dans les fentes des houilles des placages circulaires où les minéraux se présentent en fibres disposées radialement.

Certains vides de décollement peuvent être assez larges pour avoir permis au sulfure de fer de s'individualiser sous forme de cristaux de dimensions relativement volumineuses. C'est, en particulier, le cas des surfaces œillées de la face inférieure de l'échantillon de houille représenté par la figure 310 (Pl. LXV) où l'on observe des cristaux cubiques de Pyrite mesurant plusieurs millimètres et montrant les faces du cube, de l'octaèdre et du dodécaèdre pentagonal.

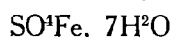
Enfin, les sulfures de fer existent encore sous forme de grains noyés dans la masse de certains filonnets de carbonate remplissant les fentes de retrait des houilles. (Fig. 279, Pl. LVIII).

En résumé, les sulfures de fer d'origine secondaire s'observent surtout à l'état de remplissage des diaclases des houilles résultant du développement d'un ou plusieurs délits schisteux.

Dans ces vides, souvent très étroits, ils forment de minces placages discontinus et présentent assez rarement une structure fibreuse qui leur appartient en propre et plus rarement encore des formes cristallines permettant une détermination précise de l'une ou l'autre des deux formes du bisulfure de fer. Ces minéraux se rencontrent moins fréquemment à l'état d'enduits dans les fentes de retrait des houilles qui sont le plus souvent vides, mais qui contiennent parfois des carbonates de fer où par contre les grains de Pyrite ou de Marcassite sont assez communs.

## B. — Les Minéraux sulfatés.

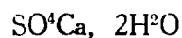
### Mélanterite.



Les sulfates des houilles qui doivent être surtout rapportés à la Mélanterite résultent de la décomposition des Pyrites et des Marcassites. ([131], p. 269) ([370], T. IV, 1<sup>re</sup> partie, p. 224 et 226). Ils ne se forment guère qu'au dépens des sulfures de fer d'origine secondaire dont le mode de gisement dans les diaclases de la roche facilitent les phénomènes d'oxydation.

Le sulfate de fer orthorhombique se rencontre assez rarement dans les houilles à l'état cristallisé. Dans ce cas ses cristaux aciculaires de très petites tailles, souvent disposés radialement, forment des enduits discontinus de très faibles épaisseurs tapissant les parois des diaclases de la roche combustible qu'ils ne remplissent qu'incomplètement. Ces cristaux en aiguilles sont incolores ou de teintes bleue ou verdâtre. Le plus souvent la Mélanterite qui tapisse certaines fentes des houilles est elle-même oxydée et transformée en un enduit pulvérulent jaunâtre ou brunâtre plus ou moins encroûtant et où s'observent fréquemment des grains de sulfure de fer, non altérés

### Gypse.



Je n'ai jamais rencontré de cristaux de Gypse déterminables dans les fentes des houilles, mais la présence fréquente de ce minéral dans les schistes pyriteux altérés semble indiquer que certains des minéraux blancs, fibreux et à disposition en rosettes qui tapissent les fentes de certaines houilles peuvent être attribués avec vraisemblance au sulfate de chaux hydraté. Ce gypse proviendrait de l'action d'eaux sulfureuses sur des filonnets ou des enduits de calcite s'exerçant suivant une réaction fréquente dans les sources thermales sulfureuses qui sourdent dans les régions calcaires <sup>(1)</sup>.

Les sulfates s'observent beaucoup plus rarement dans les houilles fraîches ou conservées en atmosphère sèche que les carbonates et les sulfures et semblent ne dériver que de l'altération de ces derniers minéraux.

(1). Voir à ce sujet A. LACROIX, [370], T. IV, 1<sup>re</sup> partie, p. 210.

### C. — Mode de distribution des Minéraux sulfurés dans les houilles des veines à toit marin.

C'est un fait aujourd'hui bien connu et signalé depuis près de 20 ans par M. CH. BARROIS [26] que les houilles des veines recouvertes par un toit à coquilles marines se distinguent des autres charbons par des teneurs en pyrite relativement importantes que révèlent les analyses chimiques. Dans la Veine Poissonnière, à la Fosse Déjardin des Mines d'Aniche, M. BARROIS a pu observer une teneur en Pyrite de 8 % calculée d'après le soufre dosé. Il a été également amené à attribuer à des pourcentages exceptionnels en bisulfure de fer la couleur particulière violacé foncé des cendres du sommet des veines à toit marin, caractère qui avait été remarqué par M. VIRELY, Ingénieur en Chef, et M. GRIMEAUD, Géomètre, qui l'ont appliqué d'une façon ingénieuse et heureuse à la recherche des niveaux marins de la Concession d'Aniche. Ce même caractère a été utilisé depuis par les Ingénieurs des autres Compagnies et a permis la découverte de ces mêmes niveaux dans le reste du Bassin.

Au cours de l'étude pétrographique d'échantillons de houille provenant de divers points du Bassin, mais appartenant tous à la Veine Poissonnière, il m'a paru intéressant de rechercher quel était le mode de distribution des sulfures de fer dans ces charbons recouverts d'un toit marin.

Aux points de vue pétrographique et paléontologique ces houilles ne peuvent être distinguées des charbons de mêmes teneurs en matières volatiles provenant de veines dont les toits contiennent des coquilles d'eau douce, des coquilles d'eau saumâtre ou des végétaux flottés. L'examen microscopique ne révèle, d'autre part, aucune teneur anormale en bisulfure de fer, soit sous forme de grains ou de concrétions (sulfures d'origine primaire), soit à l'état de remplissage de vides (sulfures d'origine secondaire). Les différentes figures de la planche L montrent bien l'absence de remplissage des vides de retrait et permettent, grâce à une comparaison avec les figures des planches précédentes, de se rendre compte des caractères pétrographiques et paléontologiques normaux des divers types de houille que l'on rencontre dans cette veine en différentes régions du Bassin.

Les figures 251 et 253, et surtout la figure 249, montrent des exemples de pyritisation de masses ligneuses d'importances tout diverses, exemples qui sont tout aussi fréquents dans les autres veines de houille. Les figures 247, 248, 250 et 252, dont certaines représentent des fragments de houille voisins de ceux des microphotographies 251 et 253, nous offrent, du reste, des exemples remarquables de tissus ligneux parfaitement fossilisés ou gélifiés, mais ayant échappé à toute minéralisation du fait des sulfures de fer.

Des faits d'observation précédents on doit donc conclure que les sulfures de fer ne se rencontrent pas en quantités anormales sous forme de remplissage de vides, de grains, de concrétions ou d'imprégnations de masses ligneuses dans les houilles de la Veine Poissonnière et que leur présence, en quantités anormales, révélée par les analyses chimiques ne peut s'expliquer que si l'on admet *que les sulfures en question existent dans les dites houilles à un état de division si accentué qu'ils ne peuvent être observés au microscope.*

Les sulfures de fer des houilles de cette veine à toit marin présenteraient donc un mode de gisement comparable à celui des sulfures des boues bleuâtres et noirâtres actuelles ou de

certaines tourbes <sup>(1)</sup> et pourrait être constitué comme dans ces formations par un *protosulfure* moins stable que la Marcassite elle-même, circonstances qui expliqueraient l'altération rapide de ces houilles lorsqu'elles se trouvent soumises à l'action oxydante de l'air. L'état d'extrême division d'un sulfure moins résistant que les bisulfures faciliterait la formation de sulfates et d'acide sulfurique provoquant l'émiettement du charbon et pouvant, dans certains cas, jouer un rôle dans sa combustion spontanée.

En résumé, les sulfures de fer possèdent dans les houilles exactement les mêmes modes de gisement que les carbonates rhomboédriques et en particulier que la Sidérose. Ils peuvent avoir une origine primaire et se présenter sous forme de grains, de concrétions ou d'imprégnations de masses ligneuses. Ces différents types de formations sulfurées, moins fréquentes que leurs équivalents carbonatés, sont toujours nettement stratifiées dans la masse des lits de houille ; caractère qui implique qu'elles se sont individualisées très tôt pendant les phénomènes de dépôt. Quant aux sulfures d'origine secondaire ils constituent des remplissages incomplets s'observant surtout dans les diaclases particulières des houilles qui correspondent à certaines directions de schistosité.

Dans les veines riches en sulfures (Veines à toit marin) les bisulfures de fer ne se révèlent pas à l'examen microscopique comme étant plus fréquents, sous les deux formes précédentes, que dans les houilles ordinaires. Les sulfures abondants, dont la présence se trouve décelée par les analyses chimiques, existeraient donc surtout dans ces charbons à un état d'extrême division et ne peuvent être observés même à des grossissements de 1000 diamètres <sup>(2)</sup>. Comme dans les boues organiques actuelles ou récentes il se peut qu'ils existent dans ces charbons à l'état de protosulfure, circonstance qui expliquerait leur altération rapide facilitée par leur état de grande division.

Quant au sulfate de fer hydraté (Mélantérite), il n'existe guère dans les houilles que comme produit d'altération des bisulfures de fer d'origine secondaire. Comme ces derniers il tapisse partiellement certaines fentes de la roche combustible. Il se rencontre rarement en cristaux aciculaires disposés en rosettes et forme, en général, des enduits pulvérulents blancs, jaunes ou bruns.

(1). Voir : A. LACROIX. — [370], T. II, p. 616.

(2). L'état de division des sulfures de fer des houilles à toits marins serait encore plus accentué que celui de ces mêmes minéraux dans les marnes et argiles bleues où l'on peut encore les observer au microscope.

Voir à ce sujet : L. CAYEUX [131], p. 270.

## APPENDICE

### Les substances cendreuses des houilles invisibles au microscope

*Leur distribution dans les constituants microscopiques des houilles.*

#### SOMMAIRE.

- I. — DISTRIBUTION DES SUBSTANCES MINÉRALES DANS LES VÉGÉTAUX ACTUELS. — Faibles teneurs en cendres des *tissus ligneux* et des *organes ligneux*. — Teneurs en cendres relativement élevées des *substances cutinisées* et des *organes recouverts de cutine*.
- II. — DISTRIBUTION DES SUBSTANCES MINÉRALES D'ORIGINE VÉGÉTALE DANS LES CONSTITUANTS MICROSCOPQUES DES HOUILLES. — Teneurs en cendres relativement élevées des *débris cutinisés* (spores, cuticules, feuilles). — Teneurs en cendres relativement faibles des *débris de tissus ligneux* (Bois, Sclérenchyme). — Teneurs en cendres originelles très faibles des *pâtes des houilles*.

A côté des substances minérales observables au microscope et parfois visibles à l'œil nu, qui ont été décrites dans les développements précédents, les houilles contiennent des substances cendreuses qui présentent des états de division tels qu'elles échappent à l'examen physique aux plus forts grossissements.

Parmi ces substances, dont la présence nous est révélée par les analyses chimiques d'échantillons de houille ne contenant pas de minéraux observables <sup>(1)</sup>, l'on peut tout d'abord ranger les *sulfures très divisés* dont l'abondance caractérise les charbons des veines à toits marins, mais qui existent également en quantités moins importantes dans les autres veines de houille. C'est également parmi elles que l'on doit placer les *substances minérales contenues primitivement dans les végétaux houillers* dont les débris ont concouru à la formation des couches de charbon. C'est de ces dernières substances minérales seules que je parlerai brièvement dans le présent appendice

#### I. — Les substances cendreuses des végétaux actuels.

L'incinération des végétaux laisse un résidu solide constitué par des substances minérales dont la présence, en règle générale, ne peut être observée dans les tissus vivants, l'extrême division de ces substances leur permettant d'échapper aux méthodes et aux moyens les plus puissants que met à notre portée le microscope le plus moderne.

(1). Les substances minérales d'origines primaire ou secondaire que j'ai décrites dans le chapitre neuvième, bien qu'assez fréquentes dans les houilles, *doivent être considérées comme des éléments constitutifs rares*. Beaucoup de charbons en sont complètement dépourvus et dans les veines qui les contiennent leur gisement est le plus souvent très localisé. L'on peut donc dire que dans la majorité des cas les cendres des houilles proviennent de substances minérales non décelables par l'examen microscopique.

Je n'aborderai pas ici la question de la nature et de la composition chimique des cendres des végétaux actuels et des minéraux dont elles dérivent qui est d'ordre purement botanique et se trouve exposée dans tous les manuels traitant de cette science. Je me bornerai seulement à rappeler quelques particularités de la distribution des cendres dans les différentes parties des végétaux qui offrent au point de vue de l'étude des substances cendreuses des houilles un intérêt spécial en ce sens qu'elles expliquent, dans une certaine mesure, les différences de teneurs en cendres des diverses variétés de charbon.

Comme l'a très bien montré M. X. STAINIER dans son beau mémoire sur la formation des couches de charbon [598] en s'appuyant sur les résultats établis par WOLFF [702], CZAPEK [141], STRASBURGER et d'autres chercheurs [623], l'on peut classer les substances constitutives des végétaux en deux catégories bien distinctes, quant à leurs teneurs en cendres, catégories dont les types extrêmes sont représentés respectivement par deux groupes que ces auteurs désignent par les termes de *substances ligneuses* et de *substances herbacées*.

1<sup>o</sup> Dans les *substances ligneuses*, terme pris ici dans le sens de «bois» dans l'acception populaire du mot et s'appliquant, par conséquent, à des mélanges de lignine, de cellulose et de pectose, les teneurs en cendres extrêmement basses sont toujours inférieures à 1% de la matière sèche, ce qui implique des teneurs en cendres encore plus faibles des tissus vivants. D'après les recherches de CZAPEK, dont les résultats sont conformes à ceux cités par WOLFF et STRASBURGER, le bois des conifères ne contient normalement que des pourcentages très faibles de substances minérales. Dans le bois de pin la teneur en cendres reste toujours assez voisine de 0.21 %.

2<sup>o</sup> Dans les *substances herbacées*, terme employé pour désigner les *organes végétaux recouverts d'une enveloppe de cutine ou cuticule* par opposition aux organes végétaux revêtus d'une écorce, les teneurs en cendres sont beaucoup plus élevées que dans les parties ligneuses et peuvent atteindre 7% et plus de la substance sèche.

Quelques chiffres empruntés à la note de M. STAINIER ou à J. CORNET [137], § 1.092) permettent de se rendre compte de ces différences essentielles.

Le tableau III, ci-contre indique les teneurs en cendres des différentes parties de l'*Abies pectinata* et du *Pinus sylvestris*.

TABLEAU III

ESPÈCES VÉGÉTALES	TENEURS EN CENDRES		
	PLANTE ENTIÈRE	Bois	ARGUILLES (feuilles)
<i>Abies pectinata</i>	4,47 %	0,80 %	7,10 %
<i>Pinus sylvestris</i>	4,15 %	0,14 %	5,59 %

Des faits absolument comparables à ceux observés dans le cas des gymnospermes (T. III) ont été mis en évidence dans un arbre à fleurs (Poirier) grâce à une étude de VIOLETTE <sup>(1)</sup> dont les résultats sont résumés dans le tableau IV.

TABLEAU IV

*Teneurs en cendres des différentes parties d'un arbre à fleurs (Poirier)*

PARTIES DE LA PLANTE	RACINE	TRONC	BRANCHES			FEUILLES
			PARTIE INFÉRIEURE	PARTIE MOYENNE	PARTIE SUPÉRIEURE	
Bois	0,234 %	0,296 %	0,354 %	0,134 %	0,304 %	7,118 %
Écorce	1,129 %	2,657 %	2,903 %	3,682 %	3,454 %	

D'autre part, les analyses comparatives de plantes entières choisies parmi des espèces herbacées et des espèces arborescentes ont donné les résultats suivants (Tableau V) en ce qui concerne les teneurs en cendres.

TABLEAU V

VÉGÉTAUX	ESPÈCES VÉGÉTALES	CENDRES %	ESPÈCES VÉGÉTALES	CENDRES %
herbacés	<i>Lycopodium complanatum</i>	5,47	<i>Equisetum arvense</i>	18,71
	<i>Asplenium Filix-femina</i>	6,41	<i>Equisetum Telmateia</i>	26,75
	<i>Polystichum Filix-mas</i>	7,56	<i>Equisetum hyemale</i>	11,82
arborescents	<i>Abies pectinata</i>	4,47	<i>Pinus sylcestris</i>	4,15

Les espèces herbacées, dont tous les organes se trouvent recouverts par la cutine, présentent donc dans leur ensemble des teneurs en cendres de même ordre et souvent supérieures à celles des feuilles des espèces arborescentes qui sont également des organes recouverts d'une cuticule.

En résumé, tous ces résultats montrent que parmi les substances végétales organisées qui

(1). Analyses citées dans le *Dictionnaire de Chimie* de WURTZ, T. I, p. 641.



se retrouvent fossilisées dans les houilles les unes, les substances ligneuses, sont caractérisées dans les plantes actuelles par des pourcentages en cendres extrêmement faibles, généralement inférieures à l'unité, tandis que les autres, les substances cutinisées, recouvrent des organes beaucoup plus riches en substances minérales et contenant en moyenne 6 à 7% de cendres.

J'aurai l'occasion d'utiliser ultérieurement ces résultats pour expliquer, du moins dans une certaine mesure, les teneurs en cendres relativement élevées des houilles bitumineuses (houilles de cutine) et les teneurs en cendres plus faibles des houilles à coke et des anthracites (houilles ligno-cellulosiques) du Bassin houiller du Nord de la France.

## II. — Distribution des substances cendreuses d'origine végétale dans les constituants microscopiques des houilles.

Il n'existe aucune raison d'admettre que les substances organiques des plantes houillères présentaient des compositions chimiques autres que celles des substances correspondantes des plantes actuelles et que la distribution des substances minérales dans les divers organes des plantes était différente à l'époque carbonifère de ce qu'elle est de nos jours.

Les résultats acquis dans l'étude de la distribution des substances minérales dans les végétaux vivants, que je viens d'exposer brièvement dans le paragraphe précédent, peuvent donc être logiquement étendus aux débris végétaux qui ont été fossilisés dans les houilles.

J'examinerai successivement la distribution probable des substances minérales dans les débris organisés et dans les pâtes des houilles.

### 1<sup>o</sup> — DIFFÉRENCES DE TENEURS EN CENDRES DES DEUX GRANDS TYPES DE DÉBRIS ORGANISÉS

Les substances résineuses ne jouant jamais dans les houilles de rôle très important, du moins en tant que débris organisés, je n'examinerai ici que la distribution des substances minérales dans les substances cutinisées et dans les substances ligneuses.

#### a. — Teneurs en cendres des débris à enveloppes cutinisées.

Dans les végétaux actuels toutes les parties des plantes recouvertes par une cuticule sont caractérisées par des teneurs en cendres assez élevées (5 à 6% en moyenne). Il en était de même à l'époque houillère, car il est démontré aujourd'hui que, dans une houille donnée, les lits riches en spores et en cuticules décrits sous le nom de Durain (houille mate) sont, *en règle générale*, plus riches en cendres que les lits de houille semi-brillante (Clarain), plus pauvres en ces mêmes débris organisés, et que ces derniers lits sont eux-mêmes plus cendreux que les lits de houille brillante amorphe (Vitrain) où les spores et les cuticules font complètement défaut <sup>(1)</sup>.

Ces caractères, qui ne peuvent naturellement s'observer que lorsque la présence de substances minérales individualisées au cours des phénomènes de dépôt ou formées secondairement

(1). Voir à ce sujet : M. C. STOPES. [608]

dans les vides des houilles ne viennent pas s'ajouter aux cendres d'origine végétale, conduisent à admettre que les débris cutinisés des charbons paléozoïques contiennent toujours des proportions de cendres assez importantes oscillant autour de 5%.

b. — *Teneurs en cendres des tissus ligneux.*

En ce qui concerne les tissus ligneux qui représentent des masses éminemment poreuses deux cas sont à envisager suivant qu'ils ont subi ou non une minéralisation subséquente.

Lorsqu'elles n'ont pas été imprégnées après coup par du carbonate ou du sulfure de fer ces masses ligneuses ne doivent contenir que des quantités de cendres de même ordre que les bois des végétaux actuels, un faible enrichissement en substances minérales pouvant néanmoins coïncider avec une augmentation de la teneur en carbone par perte de produits volatiles.

C'est ce caractère qui expliquerait en partie pourquoi beaucoup d'anthracites, qui sont des houilles ligno-cellulosiques, sont très pauvres en cendres.

2° — FAIBLES TENEURS EN CENDRES DES PÂTES DES HOUILLES

Dans le cas des débris organisés (spores, cuticules, tissus ligneux) il est évident que la fossilisation de la structure primitive implique une conservation des substances minérales, plus stables que les substances organiques, et même une augmentation du pourcentage des cendres par suite de l'enrichissement en carbone ; enrichissement correspondant à une perte de produits volatiles se traduisant par une diminution du poids de la masse de substances organiques.

Il en est tout différemment dans le cas des pâtes des houilles qui proviennent de la coagulation de substances organiques qui ont formé dans les eaux de la lagune houillère des solutions ou des pseudo-solutions. Ces pâtes proviennent de substances végétales organisées ou non qui ont subi une désintégration accentuée qui a pu mettre en liberté les substances minérales qui constituaient les parties cendreuses du tissu ou de la substance vivante. La séparation des substances organiques et minérales a pu d'autant mieux s'effectuer qu'elle se trouvait facilitée par les phénomènes de transport de la solution végétale susceptibles de réaliser un classement analogue à celui qu'ils ont opéré sur les débris organisés.

Au cours de la formation des pâtes des houilles les particules minérales très divisées, qui entraient dans la composition des cendres des tissus ou des substances végétales dont elles dérivent, ont donc pu s'éliminer en permettant, dans bien des cas, la coagulation de substances organiques presque pures et par conséquent quasi exemptes de cendres.

L'exactitude de cette manière de voir se trouve vérifiée par le fait que, lorsqu'ils n'ont pas subi de minéralisation secondaire et lorsqu'ils ne contiennent pas de concrétions carbonatées ou des particules d'argile, les lits de pâte pure (houille brillante = Vitrain) d'une houille donnée sont beaucoup plus pauvres en cendres que les lits adjacents contenant des débris végétaux organisés. C'est également à la faible teneur en cendres des pâtes normales, non minéralisées, que beaucoup de lits de houille semi-brillante (Clairain), riches en ciment et pauvres en débris organisés, doivent d'être moins cendreuse que les lits de houille mate (Durain) qui leur sont associés dans un même bloc de houille ; lits de houille mate où une pâte très réduite et parfois presque absente enrobe des spores et des cuticules extrêmement nombreuses.

Enfin, une autre confirmation de l'exactitude des conceptions précédentes en ce qui concerne la distribution des substances minérales des houilles provenant des plantes houillères dans les débris végétaux et dans les substances amorphes des charbons paléozoïques nous est fournie par l'étude des houilles à l'aide des rayons X qui, lorsqu'elle a été exécutée dans des conditions favorables [362], montre que les substances minérales finement distribuées dans les lits élémentaires des houilles sont, en règle générale, beaucoup plus abondantes dans les houilles mates (Durains) que dans les houilles semi-brillantes (Clarains) ; ces dernières contenant elles-mêmes plus de fines particules minérales que les lits de houille brillante (Vitrain).

## Conclusions de l'étude des substances minérales des houilles

De cette étude on peut tirer les conclusions suivantes :

1<sup>o</sup> Les substances minérales qui donnent naissance aux cendres des houilles peuvent avoir soit une *origine primaire*, soit une *origine secondaire*.

2<sup>o</sup> Les substances minérales d'origine primaire peuvent elles-mêmes provenir de trois sources différentes qui sont :

a. — *Les substances minérales contenues dans les végétaux houillers* et constituant à l'état vivant leurs cendres propres. Dans les houilles, ces substances cendreuses se retrouvent dans les masses des débris végétaux à structure conservée qui ont subi un enrichissement en cendres parallèle à leur enrichissement en carbone. Alors que les *substances cutinisées* (spores, cuticules) renferment normalement d'assez fortes proportions de cendres (5 à 6 % et plus) les *substances ligneuses* (bois, sclérenchyme) non minéralisées ne contiennent normalement que des pourcentages de cendres très faibles de l'ordre de 1 %.

b. — *Les substances minérales concrétionnées au cours des phénomènes de dépôt* consistant surtout en cristaux, en grains, en agrégats ou en lits de substances minérales pures, en imprégnations de masses ligneuses devenant, de ce fait, très cendreuses ou en ciment concrétionné enrobant des débris végétaux. Ces substances sont surtout représentées par les *carbonates rhomboédriques* (Sidérose, Dolomie, Calcite) et par les *bisulfures de fer* (Pyrite, Marcassite). Ces derniers minéraux ( $\text{FeS}_2$ ), beaucoup moins fréquents dans les houilles que les premiers ( $\text{CO}_3\text{Fe}$  ;  $\text{CO}_3\text{Ca}$  ;  $\text{CO}_3\text{Mg}$ ,  $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) représentent, selon toute vraisemblance, l'un des stades évolutifs du cycle qui a abouti à la genèse des carbonates par réduction des sulfates selon les réactions classiques de MURRAY, IRWINE et RENARD.

c. — *Les substances minérales d'origine détritique* amenées sur les aires de dépôt en même temps que les débris végétaux organisés. Dans les houilles, comme dans les houilles cendreuses, ces éléments clastiques sont presque uniquement représentés par de  *fines particules d'argile*  disséminées dans la pâte organique de la roche combustible, concentrées parfois dans certains lits passant nettement au schiste charbonneux <sup>(1)</sup>.

(1). Cette conclusion nous amène naturellement à placer les houilles, au point de vue sédimentaire, à côté des schistes

3° Les substances minérales d'origine secondaire sont celles qui résultent *du remplissage des fentes de retrait des houilles et de leurs diaclases par des minéraux* qui ont cristallisé parfois très tardivement dans les vides de la roche combustible durcie. Ces minéraux, qui obstruent quelquefois les dites fentes, forment le plus souvent de simples revêtements discontinus sur les parois de ces vides. Les espèces les plus fréquentes que l'on rencontre dans ce mode de gisement sont surtout les *carbonates rhomboédriques* (Sidérose, Dolomie, Calcite) et les *bisulfures de Fer* (Pyrite, Marcassite). Les *sulfates* (Mélantérite, Gypse) sont beaucoup plus rares et ne représentent vraisemblablement que des produits d'altération des minéraux précédents.

4° A côté des substances minérales visibles au microscope, il existe presque toujours dans les houilles une certaine proportion de substances cendreuses qui échappent à nos moyens d'investigation et parmi lesquelles l'on doit classer notamment les particules minérales constitutives des cendres des végétaux houillers et les sulfures très divisés répartis régulièrement dans la masse des houilles des veines à toit marin.

5° Par opposition aux débris végétaux organisés *les pâtes ou ciments organiques des houilles sont des constituants très pauvres en cendres* en raison même de leur mode de formation à partir de solutions ou de pseudo-solutions végétales très pauvres et parfois exemptes de tous troubles minéraux ou de particules minérales clastiques.

En résumé, les substances minérales silicatées des cendres des houilles proviennent surtout des particules minérales clastiques (argiles) et des substances cendreuses des végétaux houillers, tandis que les oxydes de fer, de magnésium et de calcium prennent naissance par oxydation, au cours des incinérations, des carbonates, des sulfures et des sulfates correspondants qui peuvent suivant les cas avoir des origines primaire ou secondaire.

La pauvreté en cendres des pâtes des houilles explique pourquoi beaucoup d'antracites formés surtout de lits de houille amorphe (Vitrain) et pauvres en débris ligneux ne contiennent que de très faibles proportions de cendres, tandis que les teneurs relativement hautes en cendres des spores et des cuticules justifient les pourcentages de cendres plus élevés des houilles bitumineuses où abondent ces derniers débris végétaux.

Enfin, tous les faits observés mettent nettement en évidence, en même temps que les pluralités d'origine des substances cendreuses des houilles, leur extrême division et leur répartition très inégale dans les lits élémentaires adjacents et même dans la masse d'un lit élémentaire ; caractères qui expliquent pourquoi deux prises d'essais faites dans une même « gaillette » peuvent donner à l'analyse chimique des résultats différents. Les variations de résultats qu'on attribuait généralement à l'insuffisance des méthodes expérimentales employées sont, en réalité, inhérentes à la structure de la roche combustible et trouvent leur explication dans l'examen microscopique des surfaces de houille simplement polies.

les plus fins. Le fait que beaucoup de ces schistes fins *contiennent à côté des mêmes éléments détritiques* (particules argileuses) *des débris végétaux de plus grandes dimensions* (pinnules, frondes, feuilles entières, épis fructifères) *et beaucoup mieux conservés que des débris végétaux des houilles* présente un certain intérêt et ne doit pas être perdu de vue lorsque l'on étudie la question de la genèse des sédiments houillers.

## SECTION IV

## LES VIDES DES HOUILLES

## DES DIFFÉRENCES DE COHÉRENCE DES DIVERS TYPES DE HOUILLES

Les houilles paléozoïques sont loin d'être des roches compactes. Elles renferment dans leur masse des vides plus ou moins nombreux qui dans certains de leurs lits élémentaires <sup>(1)</sup> peuvent présenter, en volume, un développement aussi important que la substance organique elle-même. Ce caractère n'avait pas échappé à C. EG. BERTRAND, FAYOL, GRAND'EURY et RENAULT qui l'ont décrit dans les lits brillants sous le nom de *clivage*. L'on a maintes fois signalé l'existence de *lits de houille en piliers* que malgré leur description succincte on peut assimiler avec certitude à des lits de houille brillante (h. amorphe = Vitrain).

Beaucoup de ces vides sont visibles à l'œil nu ou à la loupe. Néanmoins, leurs véritables caractères n'apparaissent qu'à l'examen microscopique qui permet seul de se rendre compte de leur modelé et d'établir d'une façon précise quel a été le phénomène qui a présidé à leur formation. C'est pour cette raison que leur étude, qui offre du reste un grand intérêt au point de vue de la genèse des houilles, trouve naturellement ici sa place dans une description de la structure microscopique des charbons paléozoïques.

Cette section ne traitera que des vides de retrait <sup>(2)</sup> des houilles qui se sont développés au cours du durcissement des accumulations végétales à l'exclusion des diaclases de cette roche combustible, diaclases provenant d'un retrait tardif ou d'actions mécaniques secondaires et qui seront étudiées dans la section suivante. Il m'a paru nécessaire de souligner ainsi *les différences d'origine de ces deux variétés de cavités* qui existent presque toujours simultanément dans une même houille.

(1) Ces vides sont surtout nombreux comme je l'ai déjà signalé ([180], etc...) dans les lits de houille brillante (Vitrain).

Le mot *vide* est utilisé ici dans le sens courant du terme qui est employé pour désigner un *espace qui ne contient que de l'air*. Il est alors synonyme de *cavité* ou de *fente de retrait* et a un sens tout différent de celui plus spécial qu'on lui attribue en physique.

(2) Avant de décrire les vides de retrait des houilles je tiens à rappeler que *les vides de retrait des roches combustibles des différents types peuvent avoir des origines très diverses* et que dans ce domaine, comme dans bien d'autres, ce serait commettre une erreur très grossière que de vouloir les identifier ou même seulement les comparer. Personne n'ignore que beaucoup de combustibles riches en eau, tels que les lignites, peuvent, alors qu'ils ont dans les couches fraîchement taillées des structures très compactes, *subir postérieurement à leur abatage* des phénomènes de retrait parfois considérables dus à la perte d'une certaine quantité d'eau. Il s'agit alors de phénomènes diagénétiques tardifs provoqués du reste ordinairement, par l'intervention de l'homme et qui n'ont de commun avec le développement des vides de retrait des houilles qu'une cause mécanique identique (diminution de volume par perte d'eau), cause affectant dans le cas des lignites une *roche dont la consolidation est terminée depuis longtemps*, tandis que dans celui des houilles elle s'exerce sur une *roche plastique en voie de consolidation par durcissement de son ciment*.

## CHAPITRE DIXIÈME

# Les vides de retrait des houilles

### PLANCHES LVI A LVIII.

#### SOMMAIRE.

- I. — DESCRIPTION DES VIDES DE RETRAIT DES HOUILLES. — A. — *Position et formes des vides de retrait.* — a) Vides de retrait intéressant plusieurs lits élémentaires. — b) Vides de retrait intéressant un seul lit élémentaire. — c) Vides de retrait à noyau de houille contracté. — d) Formes de la paroi des vides de retrait. — e) Allure des débris organisés au voisinage des vides de retrait. — B. — *Age des vides de retrait.* — *Leurs remplissages secondaires.* — a) Aspects des surfaces des vides de retrait. — b) Revêtements minéraux. — c) Remplissages minéraux. — d) Remplissages gazeux ou liquides. — C. — *Rapport existant entre l'importance des vides de retrait des houilles et les développements respectifs des débris organisés et de la pâte.* — a) Distribution des vides de retrait dans les divers types pétrographiques de houilles. — b) Distribution des vides de retrait dans les différents lits élémentaires d'une même houille.
- II. — MESURE DU RETRAIT DES HOUILLES. — A. — *Valeurs relativement faibles de la contraction des accumulations végétales primitives.* — B. — *Valeur réelle du retrait des houilles.* — a) *Rôle des débris organisés.* Faible contraction des spores, des cuticules, des corps résineux et des masses ligneuses. — Augmentation de volume de certains corps résineux et de certaines masses ligneuses gélifiées. — b) *Rôle des substances amorphes ou pâte.* — Localisation du retrait dans leur masse. — Conditions de développement du retrait. — Causes mécaniques du retrait.

#### CONCLUSIONS.

La question des vides de retrait des houilles, dont j'ai signalé tout l'intérêt dans le premier mémoire que j'ai publié [180] et sur laquelle je suis revenu à différentes reprises <sup>(1)</sup>, est l'une de celles qui présentent le plus d'importance au point de vue du problème de la genèse des charbons paléozoïques. *Ces vides de retrait qui se trouvent actuellement fossilisés nous permettent, comme nous le verrons bientôt, de saisir et de fixer de façon très précise la nature des phénomènes qui ont présidé au durcissement des roches combustibles et à la formation de leur pâte.*

Ces vides de retrait extrêmement nombreux s'observent sur la plupart des figures des 66 planches phototypiques de ce mémoire et contribuent à donner aux roches sédimentaires particulières que sont les houilles une structure qui leur est propre, structure déterminée par le fait qu'elles dérivent de masses plastiques colloïdales qui n'ont pris l'état solide que grâce à une perte d'eau. Les planches LVI à LVIII, que j'ai citées au début de ce chapitre, ne méritent une mention spéciale que parce que les différentes microphotographies qui y figurent montrent particulièrement bien certains caractères morphologiques des vides de retrait et mettent bien en évidence le mécanisme de leur formation par décollement de compartiments à contours irréguliers dans le sein d'une masse plastique en voie de dessiccation.

## I

### DESCRIPTION DES VIDES DE RETRAIT DES HOUILLES

#### A. — Position et Formes des vides de retrait.

Les vides de retrait des houilles, qui indiquent et mesurent en quelque sorte l'importance des diminutions de volume que subissaient les masses plastiques au cours de leur durcissement,

(1) Voir notamment [185], p. 509, col. 1 où j'ai signalé la possibilité du gisement du grisou dans ces vides.

peuvent se répartir en deux groupes suivant qu'ils intéressent plusieurs lits élémentaires de la roche combustible ou que leur développement se trouve limité à un seul de ces lits.

#### a. — Vides de retrait intéressant plusieurs lits élémentaires.

Ces vides de retrait qui s'observent dans toutes les variétés de houille des plus riches en matières volatiles (h. bitumineuses) aux plus pauvres en hydrocarbures éclairants (anthracites), sont, néanmoins, plus fréquents dans les charbons bitumineux. Dans ces derniers combustibles ce sont surtout ces vides qui en limitant des compartiments compacts et cohérents (Fig. 215, Pl. XLI ; 223, Pl. XLV) déterminent la division en blocs parallépipédiques (gaillettes) ; phénomène bien connu des mineurs et signalé depuis longtemps. Dans les autres variétés de houilles (h. à coke et anthraciteuses, anthracites) la prédominance des vides de retrait n'intéressant séparément que chaque lit élémentaire provoque la formation de *gaillettes* à contours plus irréguliers et de cohérence beaucoup moindre, chaque gaillette se trouvant divisée en compartiments plus petits limités eux-mêmes par d'autres vides de retrait.

Ces vides de retrait intéressant plusieurs lits se sont développés surtout suivant des directions sensiblement verticales et par conséquent *perpendiculaires au plan de stratification* des veines de houille. Un exemple typique particulièrement favorable à la figuration par macrophotographie est fourni par la figure 266 (Pl. LVI) où l'on peut observer (en section perpendiculaire au plan de stratification) de nombreuses fentes verticales ( $V_1$  à  $V_6$ ) dont certaines se développent dans les trois lits élémentaires (H, Hb et Hs<sub>1</sub>) visibles dans le champ. Les vides  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$  découpent un compartiment comprenant le sommet du lit Hs riche en microspores (houille semi-brillante = Clarain), toute l'épaisseur du lit de houille brillante (Vitrain) Hb et la base du lit de houille semi brillante Hs<sub>1</sub>. Les vides  $V_1$  et  $V_3$  viennent buter et semblent avoir été limités vers le bas par la présence d'une lame de Fusain ( $F_1$ ). Un autre vide vertical  $V'_5$  parallèle à  $V_1$  et  $V_3$  se poursuit vers le bas par la fente  $V_5$  qui se trouve placée sensiblement sur la même verticale. Les fentes de retrait sont beaucoup plus nombreuses dans la partie supérieure de la figure ( $V_1$ ,  $V_3$ ,  $V'_5$ ,  $V_6$ ) que dans la région inférieure où elles n'existent guère qu'au nombre de deux ( $V_4$  et  $V_5$ ). La multiplication des vides principaux  $V_1$ ,  $V_3$ ,  $V'_5$  et  $V_6$ , accompagnés du reste de fentes secondaires, semble déterminée ici par la présence du lit de houille amorphe (h. brillante = Vitrain) Hb complètement dépourvu de débris organisés. La présence de nombreuses microspores et de lames ligneuses de Fusain dans le lit Hs explique, au contraire, pour des raisons que je donnerai plus loin, une diminution d'intensité des phénomènes de retrait <sup>(1)</sup>.

Dans des sections horizontales (perpendiculaires au plan de stratification) les fentes de retrait de la figure 266 présenteraient des aspects différents suivant le niveau choisi comme plan de coupe. Dans la masse du lit de houille brillante Hb les vides de retrait très nombreux apparaîtraient en coupe horizontale sous des aspects voisins de ceux que montrent les figures 267 et 268 (Pl. LVI) où l'on peut observer *la division en piliers* de la substance organique amorphe des lits de houille brillante (Vitrain). Au contraire, dans la masse du lit de houille semi-brillante (Clarain) Hs très riche en microspores une section horizontale montrerait une disposition des vides de retrait analogue à celle que l'on observe sur la figure 215 (Pl. XLI).

(1) L'intensité des phénomènes de retrait se mesurant en quelque sorte par le pourcentage de pâte en présence. Voir à ce sujet : A. DUPARQUE, [180], p. 66 à 70, Pl. II à V.

Dans les charbons de spores ou de cuticules (h. bitumineuses) analogues à celui représenté par la figure 266 on observe généralement des développements de fentes de retrait beaucoup moins importants que dans ce cas particulier. Comme le montrent les figures 208, 210 (Pl. XL), 214 (Pl. XLI), 216 (Pl. XLII), 219 (Pl. XLIII) et 220 (Pl. XLIV) ces charbons sont parfois très compacts et dépourvus de larges vides de retrait, ces vides se bornant à limiter des blocs d'assez grande taille. Le plus souvent, les fentes de retrait moins importantes offrent l'aspect de celles visibles sur les figures 218, 221 (Pl. XLIII et XLIV) et 259 (Pl. LIII) dont certaines montrent le développement simultané de vides de décollement verticaux et horizontaux (Fig. 221 et 259). Sur la figure 218 la combinaison de vides obliques sur le plan de stratification et d'une fente horizontale, marquant en bas de la photographie la limite d'un lit de houille brillante et d'un lit riche en microspores, détermine la formation d'un compartiment à section en trapèze rectangle dont le côté vertical de l'angle droit est un vide à tracé irrégulier coïncidant sensiblement avec le bord gauche de la figure.

Le développement presque exclusif de vides de retrait horizontaux s'observe sur la figure 217 (Pl. XLII) dans un lit riche en masses ligneuses faisant partie du même bloc que la houille compacte représentée par la figure 216.

Enfin, la figure 259 (Pl. LIII) montre une tendance à l'individualisation d'un système compliqué de vides de retrait verticaux, horizontaux et obliques qui, lorsqu'il est bien développé, aboutit à un morcellement très accentué des lits de houille tel que celui représenté par la figure 273 (Pl. LVII).

Le développement des fentes de retrait intéressant plusieurs lits élémentaires est pour des raisons structurales un phénomène beaucoup plus rare dans les houilles ligno-cellulosiques (h. à coke, h. antraciteuses et anthracites) que dans les houilles de spores ou de cuticules (h. bitumineuses). Les figures 224, 225 (Pl. XLVI) représentant des houilles à coke et 226 (Pl. XLVII) où se trouve photographié un anthracite expliquent très clairement cette particularité ; la présence de nombreuses lames de tissus ligneux, de tailles relativement grandes, étalées parallèlement au plan de stratification empêchant par leur présence le développement vertical des fentes qui ne peuvent même pas se poursuivre dans toute l'épaisseur d'un même lit hétérogène. Dans les houilles de cutine la présence beaucoup plus rare de lame ligneuse provoque, du reste, l'arrêt brusque des vides de décollement. (Fig. 266, Pl. LVI). Néanmoins, il est parfois possible d'observer dans les charbons ligno-cellulosiques des fentes verticales de retrait se développant dans la masse de plusieurs lits élémentaires superposés. La figure 227 (Pl. XLVII) montre de telles fentes se combinant avec des vides de décollement horizontaux et se poursuivant parfois de part et d'autre d'une lame ligneuse comme cela est également visible sur la figure 234 (Pl. XLVIII).

En résumé, les vides de retrait des houilles intéressant simultanément plusieurs lits élémentaires superposés sont surtout fréquents dans les charbons riches en menus débris végétaux (principalement en spores) et y représentent *une forme particulière de retrait* facilitant le débitage en blocs ou gaillettes de dimensions assez grandes, blocs ou gaillettes cohérents et compacts par suite de l'absence ou de la rareté des vides de retrait plus petits distribués dans leur propre masse. Ces mêmes vides sont beaucoup plus rares dans les houilles ligno-cellulosiques où des lames ligneuses étalées parallèlement au plan de stratification s'opposent au développement vertical des fentes.



### b. — Vides de retrait n'intéressant qu'un seul lit élémentaire.

Je n'aurai guère à décrire ici que les vides qui caractérisent le constituant macroscopique des houilles auquel j'ai proposé d'appliquer le nom de *houille brillante* (houille claire de H. FAYOL = Vitrain de M<sup>me</sup> STOPES).

Les houilles brillantes sont constituées par de la pâte pure [180] et ont subi du fait de l'absence de débris organisés des phénomènes de retrait très importants qui ont divisé profondément leur masse. Les vides verticaux qui s'y manifestent peuvent présenter, eu égard à leur faible hauteur, des largeurs relativement importantes.

L'exagération des phénomènes de retrait dans les lits de pâte pure est bien mis en évidence, en section verticale, par la figure 212 (Pl. XL) où le lit de houille brillante Hb<sub>1</sub> se trouve divisé par de nombreux vides irrégulièrement disposés (V). La Fig. 249 (Pl. L) montre des faits analogues, tandis que la Fig. 269 (Pl. LVI) permet d'observer une exagération encore plus accentuée de la division irrégulière des masses de houille amorphe par les cavités qui se sont formées au cours de leur dessiccation.

Le phénomène du morcellement des lits de houille amorphe apparaît encore plus nettement dans les sections horizontales (parallèles au plan de stratification) telles que celles représentées par les figures 267 et 268 de la Pl. LVI où la *division en piliers* caractéristique des lits en question se trouve bien représentée.

Les Fig. 218 (Pl. XLIII), 223 (Hb<sub>1</sub>, Pl. XLV), 227 (Pl. XLVII) et 259 (Pl. LIII) montrent, à faible grossissement, le mode de répartition des vides des houilles brillantes, tandis que d'autres figures des planches, exécutées à grossissements plus fort ( $\times 55$ ), permettent d'observer des faits analogues <sup>(1)</sup>.

Dans les houilles où les deux types de vides de retrait existent simultanément on observe une sorte de superposition des deux formes opposées. Comme on peut s'en rendre compte par l'examen de la Fig. 266 (Pl. LVI), ce sont les vides des lits de houille amorphe (Hb) qui semblent avoir amorcé la formation des vides qui se développent dans la masse des lits hétérogènes adjacents (Hs et Hs<sub>1</sub>). Sur la Fig. 212 (Pl. XL) les fentes verticales qui divisent les trois lits inférieurs (Hm, Hb<sub>2</sub> et Hm) paraissent être la continuation des vides plus importants du lit Hb<sub>1</sub>. Dans les lits hétérogènes ces fentes de retrait diminuent de volume (Fig. 212) ou se terminent très rapidement (Fig. 266).

Dans les lits hétérogènes les vides de retrait isolés sont, en règle générale, plus localisés et beaucoup moins importants que dans les lits de houille amorphe (Voir en particulier les Fig. 30 (Pl. VII) ; 40, 43 (Pl. VIII) ; 108 (Pl. XXI), 139 à 143 (Pl. XXVII), etc.).

(1) Voir notamment les Fig. 147 (Pl. XXVIII), 194 (Pl. XXXVII), 231, 233, 234 (Pl. XLVIII), 252, 253 (Pl. L), etc... Pour des raisons que l'on comprendra aisément la figuration de houilles contenant de nombreux vides et par conséquent formées surtout par des *houilles amorphes* ou se prêtant mal à la figuration des *débris organisés* a été volontairement réduite à son minimum dans les planches qui accompagnent cet ouvrage. Ces vides sont, en réalité, beaucoup plus nombreux que ne pourrait le faire croire l'examen de la plupart des figures de ce mémoire qui représentent des régions où la houille est très homogène. J'ai, du reste, publié antérieurement dans certains des ouvrages figurant sur la liste bibliographique, sous les numéros 180 à 213 <sup>ter</sup>, différentes figures représentant les vides de retrait des lits de houille amorphe (Consulter en particulier les mémoires 180, 185, 205 et 210).

En résumé, les vides de retrait n'intéressant qu'un seul lit élémentaire existent surtout dans les lits de houille brillante (Vitrain) où ils sont très larges et très rapprochés au point qu'ils divisent fréquemment la masse de ces lits en véritables piliers.

On les rencontre aussi dans les lits hétérogènes (h. semi-brillante = Clarain, h. mate = Durain) où ils sont moins bien développés et correspondent parfois à des vides plus importants de lits de houille brillante adjacents.

Ces vides larges et courts représentent le *mode particulier de retrait caractéristique des lits de houille amorphe* formés par précipitation de substances en solution ou en pseudo-solution dans les eaux de la lagune houillère. Ils favorisent l'émiettement facile des lits en question signalé par M<sup>me</sup> STOPES et confèrent aux gaillettes de houille constituées par la superposition de tels lits une certaine fragilité.

### c. — Vides de retrait à noyaux de houille contractés.

A côté des fentes de retrait dont je viens de donner les caractéristiques je décrirai un type de retrait plus rarement observable, mais dont l'étude présente un intérêt capital au point de vue de la détermination de la nature du phénomène qui a provoqué la formation des cavités des houilles.

#### α — NOYAUX EN FORME DE LAMES

Ces noyaux en forme de lames s'observent fréquemment dans les vides de quelque importance ou sur le pourtour des compartiments de grandes tailles. L'élargissement des lames dans les régions où les vides correspondants sont eux-mêmes plus vastes indique que les dites lames représentent bien des parties contractées isolées par décollement. Ces noyaux en lames s'évasent généralement vers leur base et provoquent la digitation de vides plus importants en deux ou plusieurs fentes plus étroites.

La plupart des vides de retrait de la Fig. 266 (Pl. LVI) contiennent des noyaux contractés en forme de lames. Ces lames de houille s'observent à la base des vides V<sub>1</sub>, V<sub>3</sub> et V<sub>5</sub>, dans la partie médiane de la fente V<sub>4</sub> et entre les vides V<sub>2</sub> et V<sub>3</sub> près du bord supérieur de la macrophotographie.

Les Fig. 272, 274 et 275 (Pl. LVII) montrent des exemples typiques de lames de houille s'évasant vers leur base.

Le cas de la Fig. 274 (Pl. LVII) est particulièrement net, le noyau N en forme de languette portant à son extrémité inférieure un fragment de l'exine de macrospore qui occupe le milieu du champ ; fragment qui semble avoir gardé ses dimensions primitives et qui, en tout cas, n'a subi qu'une diminution de volume beaucoup moindre que celle de la pâte qui l'enrobait.

Enfin, la Fig. 275 montre un vide de retrait contenant un noyau digité et l'extrémité de la feuille étalée au milieu du champ, extrémité qui serait fracturée si le vide avait une origine mécanique postérieure au durcissement de la roche et dont la présence indique nettement que la cavité s'est produite dans une masse plastique.

### β — NOYAUX DE FORMES ARRONDIES

Par leurs formes arrondies et leur présence dans des vides limités eux-mêmes par des lignes courbes ces noyaux attestent mieux que tous les autres qu'ils se sont individualisés au sein d'une masse plastique, la production des lignes courbes observées ne pouvant guère se réaliser dans un corps solide.

Trois de ces noyaux à contours arrondis sont représentés par les Fig. 269 à 271 de la planche LVI. La Fig. 270 montre un noyau de houille arrondi très incomplet puisqu'il adhère largement par sa base au lit de houille semi-brillante (Clarain) Hs<sub>2</sub> et qu'il se trouve encore uni à la masse du lit de houille brillante (Vitrain) Hb<sub>2</sub> dont il dépend par un pédoncule situé à sa gauche. La forme arrondie en globule de la masse contractée indique nettement qu'elle était encore très plastique lorsqu'elle s'est détachée de son alvéole dont les formes, encore arrondies dans leur ensemble, sont légèrement polyédriques.

La Fig. 269 permet d'observer un noyau de formes générales arrondies, limité par des lignes courbes et adhérant par un étroit pédoncule à une masse de houille amorphe en forme de lame verticale. Les parties convexes de ce noyau arrondi reproduisent bien dans leur ensemble les contours de l'alvéole que représente la concavité du vide actuel.

Enfin, la Fig. 271 montre une section dont la direction de coupe a été telle qu'elle n'intéresse, vers la droite, que la base du pédoncule et que le noyau de houille ovoïde semble isolé complètement dans un vide arrondi se terminant inférieurement par deux fentes divergentes limitant elles-mêmes un compartiment en forme de mamelon.

### γ — NOYAUX DE FORMES IRRÉGULIÈRES

Dans certains cas les noyaux contractés présentent des formes très irrégulières telles que celles que montre la Fig. 269 (Pl. LVI) où l'on voit une lame s'évasant vers le bas former le pédoncule d'une masse globuleuse à contours irréguliers. Dans ce cas, l'on peut constater que le contour convexe de la masse de houille brillante est quasi identique au contour concave de l'alvéole qui la contient. Ces contours « mâles » et « femelles » indiquent bien que le noyau en question s'est individualisé par décollement d'une partie de la substance d'une masse plastique.

En résumé, tous les vides des houilles dont je viens de parler présentent tous les caractères morphologiques des fentes de retrait que l'on observe dans les masses colloïdales plastiques ayant subi une diminution de volume par perte d'eau. Toutes ces fentes sont, au contraire, bien différentes de celles qui résultent des actions mécaniques qui ont affecté les couches de houille durcie.

#### d. — Formes de la paroi des vides de retrait.

##### TRACÉS IDENTIQUES DES BORDS OPPOSÉS D'UNE MÊME FENTE.

Dans la grande majorité des cas les bords d'une même fente, se faisant vis à vis, présentent malgré des tracés souvent très sinueux des contours identiques qui attestent *qu'ils étaient primitivement en contact* et que le vide qui les sépare actuellement provient d'une contraction qui

a pu se manifester simultanément sur deux masses primitivement adjacentes. Autrement dit, les deux lèvres d'une même fente attestent fréquemment par des tracés identiques, respectivement « mâle » et « femelle », la formation de ces vides par un phénomène de décollement. Je signalerai, ici, parmi les figures déjà citées, un certain nombre d'exemples caractéristiques.

Le lit de houille brillante (Hb) de la Fig. 147 (Pl. XXVIII) montre une fente de retrait assez large dont les lèvres en lignes brisées à angles vifs ont des tracés semblables, la contraction plus accentuée des parties saillantes du bord droit expliquant, dans ce cas, les petites différences observées.

Les deux vides importants qui existent dans la partie inférieure de la Fig. 227 (Pl. XLVII) à proximité des bords droit et gauche offrent des exemples typiques des formes mâles et femelles des lèvres d'une même fente se faisant vis à vis. Dans la partie supérieure de la fente de gauche une petite lame ligneuse gélifiée forme pont au-dessus du vide. Quant à la fente de droite elle montre bien par son allure générale la formation par décollement du vide marqué V sur la figure en question.

La grande fente en diagonale qui traverse la Fig. 218 (Pl. XLIII) montre dans sa partie médiane des tracés « mâle » et « femelle » très nets. Elle permet, en outre, d'observer que le retrait a été plus accentué dans la partie de cette fente voisine du grand vide V que dans la partie inférieure de cette même fente.

Des faits du même genre sont également visibles sur les figures 222, 223 (Pl. XLV), 266 et 267 (Pl. LVI).

La Fig. 272 (Pl. LVII) représente une structure qui ne laisse subsister aucun doute sur la nature du phénomène qui l'a engendrée. Dans un vide assez vaste, à contours irréguliers, persiste encore sous forme d'une sorte de promontoire, dirigé vers le haut, la masse de houille dont la contraction a provoqué le décollement. Si l'on tient compte des déformations normalement subies au cours de la contraction, le tracé convexe de ce promontoire est quasi identique au tracé concave qui limite le vide vers le haut.

Enfin, la Fig. 246 (Pl. L) montre une fente horizontale de retrait dont les deux lèvres présentent non seulement les mêmes ondulations d'ensemble, mais encore des bords dentelés et ondulés d'allures identiques dans les parties « mâles » et « femelles » se faisant vis à vis.

#### e. — Allure des débris organisés au voisinage des fentes de retrait.

Dans la grande majorité des cas *la contraction qui affecte la houille encaissante ne s'est pas produite dans la masse des débris organisés traversant les vides de retrait ou ne s'y est manifestée que d'une façon quasi imperceptible.*

#### α. — TISSUS LIGNEUX.

Ces faits sont surtout très nets dans le cas des lames ligneuses dont les dimensions sont relativement grandes et qui étaient primitivement constituées par des substances fibreuses et dures susceptibles de résister à des efforts de traction assez considérables. Le plus souvent les lames ligneuses étalées parallèlement au plan de stratification limitent vers le haut ou vers le

bas les vides de retrait verticaux qui se trouvent répartis différemment dans les masses de houilles situées au-dessous et au-dessus d'elles. Sur la Fig. 266 (Pl. LVI) les lits de houille surmontant la lame de Fusain  $F_1$  sont découpés par deux fentes de retrait parallèles  $V_1$  et  $V_2$ , tandis que ceux qui se trouvent en dessous de la même lame ligneuse ne sont divisés que par une seule fente verticale  $V_3$ . La lame de Fusain  $F_1$ , pourtant très mince ( $0^{\text{mm}} 3$  environ), a donc non seulement échappé aux phénomènes de retrait qui ont affecté la houille encaissante, mais a encore joué un certain rôle dans la répartition des vides de retrait. Des lames de bois gélifié, beaucoup plus minces (Voir Pl. XLVIII, Fig. 231, Tl) ont pu, dans certains cas, jouer des rôles identiques.

Comme le montre en plusieurs points la Fig. 224 (Pl. XLVI), les lames de Fusain étalées horizontalement traversent souvent des fentes de retrait verticales qui se poursuivent de part et d'autre de leur masse. Fait intéressant à noter, les lames de tissus ligneux gélifiés (Xylain et Xylovitrain) qui ont pu subir au cours des phénomènes de dépôt des ramollissements assez accentués présentent le même mode de gisement. La masse lenticulaire de Xylain  $F_1$  de cette même Fig. 224 traverse plusieurs fentes de retrait de même que la lame ligneuse Tl<sub>1</sub> de la Fig. 231 (Pl. XLVIII). Un cas particulièrement typique nous est fourni par la Fig. 234 (Pl. XLVIII) où une lame ligneuse ayant atteint un état de ramollissement suffisant pour s'être plissée se poursuit sans discontinuité dans les trois masses de houille distinctes découpées dans un même lit par deux fentes de retrait convergentes. Les déformations et ondulations de la lame ligneuse semblent bien devoir être attribuées, dans ce cas, au retrait des masses de houille encaissante ; retrait qui n'a pas affecté, par contre, la substance ligneuse fortement gélifiée.

La Fig. 252 (Pl. L) montre une lame ligneuse gélifiée  $F'$  pourtant très mince (moins de  $0^{\text{mm}} 08$ ) formant pont à travers une fente de retrait ( $V$ ). Le fragment de bois à structure mieux conservée  $F_2$  de la Fig. 250 montre un fait analogue dans le voisinage de son extrémité de droite.

La Fig. 194 (Pl. XXXVII), où l'on observe la superposition de nombreuses lames ligneuses (Tl à Tl<sub>6</sub>) et de lits de pâte presque pure (P) contenant seulement quelques débris ligneux (d), montre bien que les phénomènes de retrait aboutissant à la formation de vides verticaux se trouvaient localisés dans ces lits riches en houille amorphe et n'affectaient même pas les minces lames de bois gélifié telles que Tl<sub>6</sub>, qui traverse ou borde plusieurs vides importants. De même, sur la Fig. 195 l'on peut constater que les fentes de retrait verticales existant dans la houille amorphe (P) s'arrêtent au contact de la masse ligneuse complètement gélifiée Tl. Ce dernier fait d'observation, qui met en évidence les deux manières de se comporter au cours des phénomènes de durcissement des deux types de substances amorphes que l'on rencontre dans les houilles, s'explique par les différences d'origine de ces deux catégories de substances dont j'ai signalé les caractères essentiels [183] (voir aussi p. 130 et suivantes) et que l'on a eu trop souvent le tort de vouloir confondre sous une appellation commune.

### β — EXINES DE SPORES ET CUTICULES

La cutine qui constituait la substance des exines de spores et des cuticules présentait à l'état vivant, malgré sa consistance molle, une élasticité qui n'excluait pas une certaine résistance à l'étirement. Cette résistance était néanmoins beaucoup plus faible que celle des tissus ligneux formés de substances dures et fibreuses. C'est pour cette raison que, en général, les exines de

spores et les cuticules situées sur le trajet d'une fente de retrait ont été écartelées au cours du phénomène de contraction comme le montre les Fig. 223 (Pl. XLV) <sup>(1)</sup> et 88 (Pl. XVII).

Néanmoins, deux cas particuliers observables sur les Fig. 274 et 275 (Pl. LVII) mettent en évidence des faits intéressants qui viennent confirmer l'origine par contraction d'une masse plastique des vides de retrait des houilles.

La Fig. 274 montre une structure très particulière due au fait qu'une exine de macrospore occupant le milieu du champ s'est trouvée morcelée en trois tronçons par le développement de deux fentes de retrait sensiblement perpendiculaires au plan de stratification, fentes entre lesquelles se trouve isolé un noyau de houille contractée (N). On peut alors constater que le tronçon d'exine de macrospore adhérent au noyau N n'a subi qu'une diminution de volume insignifiante par rapport au retrait de la houille encaissante et que, d'autre part, les deux parois de l'exine étroitement accolées dans les deux tronçons extrêmes se sont écartées l'une de l'autre postérieurement à l'individualisation de la lame de houille N. Cet ensemble de phénomènes ne peut s'expliquer que si l'on admet que le sédiment combustible était encore plastique au moment où les vides de retrait prenaient naissance dans sa masse.

La Fig. 275 montre le bord coupant d'une feuille, constitué par la jonction des cuticules supérieure (Cts) et inférieure (Cti), placé actuellement en porte à faux dans un vide de retrait (V) à tracé compliqué par suite du développement à sa partie supérieure d'un noyau en lame présentant des renflements et des constriction.

En résumé, des observations précédentes concernant les débris organisés placés sur les trajets des vides de retrait des houilles on peut conclure que les débris organisés solides n'ont pas subi, tout au moins de façon appréciable, les phénomènes de retrait qui se sont produits dans la houille encaissante et ont très souvent résisté à l'étirement résultant de la contraction des masses de roche combustible actuellement séparées par les fentes en question. Les structures observées impliquent des glissements de la houille encaissante à la surface des débris végétaux, glissements qui n'ont pu se produire qu'à la condition que cette houille fut encore plastique au moment où les phénomènes ont eu lieu.

## B. — Age des Vides de retrait. — Leurs remplissages secondaires.

On en vient ainsi à admettre une origine très précoce des vides de retrait qui se seraient individualisés tout au début de la diagénèse du sédiment organique au cours du durcissement du ciment colloïdal constitué à l'origine par un gel plastique.

D'autre part, l'existence dans une roche solide de vides aussi importants que ceux que contiennent certains lits élémentaires de houille, où ils présentent des dispositions très particulières, est un fait nouveau, sur lequel j'ai insisté tout au début de mes recherches [180], qui vient complètement infirmer l'opinion à peu près généralement admise, et surtout exprimée à propos du mode de gisement du grisou, que les houilles sont des roches massives dépourvues de cavités importantes.

(1) Dans le lit Hm<sub>1</sub> de cette Fig. 223 la section de feuille marquée Ct sous le vide de retrait horizontal V est sectionnée en deux tronçons par la fente verticale V.

Ce fait est suffisamment étonnant en lui-même pour justifier un certain scepticisme et pour permettre de se demander si l'on ne peut pas expliquer la formation de ces vides par un émiettement d'une partie de la houille au cours des opérations que nécessite la préparation des échantillons ? Dans certaines circonstances cette manière de voir est parfaitement exacte, l'agrandissement de certains vides des houilles pouvant être imputé à l'élimination au cours des opérations de débitage, de dressage et de polissage de fragments plus ou moins importants. La configuration des compartiments de houille isolés partiellement par les fentes de retrait telle qu'elle apparaît, tant dans les sections horizontales que verticales, permet de comprendre facilement que le trait de scie ou les usures progressives du dressage ou du polissage peuvent provoquer l'isolement total de fragments en angles aigus dont la chute entraîne la fusion de deux vides adjacents. Le cas que je viens de citer s'est trouvé certainement réalisé dans la région supérieure de la Fig. 218 (Pl. XLIII) où le noyau d'un grand vide V a disparu au cours de la préparation de la surface polie.

Mais doit-on généraliser ces faits d'observation et affirmer que les fentes de retrait des houilles sont des vides provoqués par l'émiettement de compartiments juxtaposés et étroitement accolés, séparés seulement par des diaclases identiques à celles que l'on observe dans toutes les roches ?

En réalité, à la suite d'un examen quelque peu attentif d'échantillons de houille brute effectué à l'œil nu, à la loupe ou au microscope binoculaire on constate clairement l'existence, dans la masse des houilles vierges, de vides aussi importants que ceux que révèlent les études microscopiques en lumière réfléchie.

L'ancienneté des fentes de retrait des houilles se trouve indiquée par l'étude de l'allure des surfaces des vides de retrait, par la présence sur les dites surfaces de revêtements minéraux et par leur remplissage par des carbonates rhomboédriques.

Pour achever de convaincre ceux qui se contenteraient d'interpréter rapidement certaines des figures que j'ai publiées j'ai tenu à apporter ici quelques preuves.

#### a. — ASPECT DES SURFACES DES VIDES DE RETRAIT DES HOUILLES.

J'ai décrit plus haut (p. 207) les tracés des bords des vides de retrait représentant l'allure de la ligne d'intersection de la surface des vides en question avec le plan des surfaces polies. Dans le présent paragraphe je me propose, au contraire, de décrire l'aspect des surfaces qui limitent les vides dont j'attribue l'origine à des décollements survenus au sein d'une masse plastique.

Les observations nécessaires à cette étude peuvent être faites soit sur les échantillons de houille brute, soit sur les blocs mêmes qui ont servi à la confection des surfaces polies. Elles exigent l'emploi d'appareils très différents de ceux utilisés dans l'examen en lumière réfléchie des dites surfaces polies, appareil que je décrirai très brièvement.

Dans ces examens, qui exigent *une bonne définition du relief et une grande distance frontale des objectifs*, j'ai eu recours au microscope binoculaire biobjectif pour les grossissements faibles ou moyens et aux loupes binoculaires pour les grossissements très faibles. Pour obtenir un éclairage quasi vertical, indispensable dans le cas de vides profonds et étroits, les tubes à prismes redresseurs doivent être pourvus, dans les deux cas, de lampes spéciales de très petits formats

pouvant leur être étroitement accolées et entraînées par le mouvement à crémaillère servant à la mise au point, dispositif qui permet de conserver le réglage de la source lumineuse.

L'on peut ainsi, en élevant ou en abaissant les tubes binoculaires, explorer les fentes de retrait des houilles sur une certaine profondeur et observer leurs formes.

Cet examen vient confirmer ce qui a été dit antérieurement sur les caractères des fentes de retrait des houilles et permet, en particulier, de se rendre compte des aspects très différents que présentent, d'une part, les parois de ces vides et, d'autre part, celles des diaclases ordinaires dont il sera question plus loin.

Cette étude montre que les parois des fentes de retrait n'offrent jamais l'aspect des cassures particulières des houilles ou des surfaces de glissement correspondant au développement dans des masses solidifiées d'une véritable schistosité, ni celui des cassures irrégulières provoquées par une action mécanique telle que le choc du marteau, l'intrusion d'un burin ou une traction quelconque. La surface de ces fentes de retrait est irrégulièrement ondulée et mamelonnée, elle offre une patine spéciale vernissée qui semble attester une sorte d'usure rendue possible par leur longue exposition dans un vide parcouru par un fluide tel que l'air, un gaz quelconque ou l'eau en mouvement. On peut alors également se rendre compte que le caractère visible en surfaces polies dans un seul plan — l'identité des contours des deux lèvres d'un vide de décollement — s'observe également sur toute la surface des deux parois d'un même vide.

#### b. — REVÊTEMENTS MINÉRAUX DES PAROIS DES VIDES DE RETRAIT.

L'examen au microscope binoculaire ou à la loupe binoculaire des parois des fentes de retrait permet d'observer fréquemment des revêtements minéraux qui attestent l'ancienneté de ces vides. Ces revêtements affectent, le plus souvent, l'allure de minces pellicules ne recouvrant généralement que certaines parties d'une paroi donnée.

Les minéraux que l'on rencontre surtout sur ces parois sont les carbonates rhomboédriques (Sidérose, Dolomie, Calcite), les bisulfures de fer (Pyrite, Marcassite) et les sulfates hydratés de fer et de calcium (Mélantérite et Gypse).

#### c. — REMPLISSAGES MINÉRAUX DES VIDES DE RETRAIT (Pl. LVIII).

Dans certains cas le dépôt minéral qui a provoqué les revêtements pelliculaires dont je viens de parler *a pu se poursuivre pendant un espace de temps assez long* pour entraîner le remplissage complet des fentes de retrait, remplissage qui est bien visible sur les Fig. 276 à 279 de la Planche LVIII.

La Fig. 276 montre le remplissage par un carbonate rhomboédrique de fentes de décollement sensiblement horizontales. Dans la fente inférieure, relativement large, la substance minérale englobe deux noyaux rétractés de houille dont l'un se trouve complètement isolé dans sa masse, tandis que l'autre adhère encore au charbon qui repose sur le carbonate suivant une surface de contact dont la section par le plan de la figure est représentée par plusieurs lignes courbes. Ces noyaux sont identiques à ceux que l'on observe dans certains vides ne contenant aucune substance minérale et l'ancienneté de ces derniers se trouve ainsi démontrée.

La Fig. 277 nous offre un autre exemple de remplissage par un carbonate d'une fente de retrait horizontale intéressant à un autre point de vue. Le morcellement de la lame de substance



minérale, dont les divers tronçons se trouvent placés à quatre niveaux différents par suite de l'effet de plusieurs failles, démontre que le jeu de ces failles qui, comme nous le verrons plus loin, est lié au développement dans la houille d'une certaine schistosité, est ici postérieur au dépôt des substances minérales. Ces dernières remplissent également des fentes très fines telles que Cf<sub>1</sub> et Cf<sub>2</sub>.

La Fig. 278 représente le remplissage par un carbonate d'une fente de retrait oblique à la stratification et coupant en diagonale le champ de la photographie.

Enfin, la Fig. 279 nous montre deux vides de retrait (Cf et Cf') remplis respectivement par des carbonates compacts et granuleux.

Quelle que soit l'opinion qu'on puisse se faire sur la durée des phénomènes de remplissage et sur l'état dans lequel se trouvait le sédiment au moment où il s'est produit, on se trouve porté à admettre que la présence dans les vides de retrait des houilles des substances minérales en question atteste l'ancienneté de ces vides.

#### d. — REMPLISSAGE DES VIDES DE RETRAIT PAR DES GAZ.

Les remplissages complets par des substances minérales des fentes de retrait des houilles étant relativement rares, il en résulte que dans la grande majorité des cas *ces fentes sont actuellement vides de toute substance solide, charbonneuse ou autre*. Les remplissages partiels se réduisent presque toujours à de minces enduits pelliculaires laissant aux cavités la quasi totalité de leur volume et ne forment généralement que des revêtements très discontinus. Si l'on ajoute à cela que dans la plupart des cas ces enduits minéraux font complètement défaut, comme le montrent certaines des figures de ce mémoire, on arrive à cette conclusion *que dans le gisement même les houilles contiennent des vides parfois très importants* qui dans les couches en place doivent nécessairement être *comblés par des gaz ou des liquides sous pression* disparaissant lors de l'abatage ; gaz ou liquides dont la présence explique que les vides en question ont été maintenus béants depuis leur origine.

L'existence de ces fluides particuliers, formant le remplissage des fentes de retrait, ne peut guère être mise en doute, car il est évident qu'en profondeur les couches de houilles subissent du seul fait du poids des sédiments surincombants des pressions considérables et en tout cas capables de provoquer l'écrasement des lits fragiles de houille en piliers (h. brillante = Vitrain) si les vastes cavités des lits en question ne contenaient pas un gaz ou un liquide suffisamment comprimé pour pouvoir équilibrer l'action de ces pressions. Seuls de tels remplissages gazeux ou liquides peuvent, du reste, expliquer la persistance des vides de retrait et des diaclases dans les houilles fortement plissées (Fig. 254 à 257, Pl. LI et LII) ou faillées (Fig. 259, Pl. LIII) dont les déformations mêmes attestent l'importance des pressions subies.

L'on doit donc considérer comme démontré ce fait, sur lequel j'ai déjà insisté [185], qu'il existe dans les houilles des vides dont le volume est loin d'être négligeable et qui sont susceptibles de contenir à l'état comprimé *une partie au moins* du grisou (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>) qui se dégage lors de leur abatage.

Il ne paraît guère probable que tout le grisou puisse exister à l'état libre et comprimé dans ces vides des houilles qui ne représentent, selon moi, que l'un des modes de gisement de ce gaz dont les origines, probablement complexes, restent encore si mystérieuses. Néanmoins, il semble bien que dans les recherches qui seront entreprises ultérieurement sur cette question si impor-

tante il y aura lieu de ne pas perdre de vue cette particularité de structure de la roche qui le contient. Il est en effet évident que, contrairement à l'opinion généralement admise par ceux qui se sont occupés de la question du grisou au cours de ces dernières années, *les houilles ne sont pas des roches absolument compactes*, certaines d'entre elles pouvant même contenir des vides dont les volumes globaux sont assez importants.

De toute façon, la structure des charbons telle qu'elle apparaît, grâce aux études microscopiques qui montrent que ces combustibles sont des roches non massives parcourues par des fentes dont la plupart résultent du retrait de masses plastiques, permet de se rendre compte pourquoi, lors du dégagement brutal des gaz qu'elles contiennent quand on les libère des pressions auxquelles elles sont naturellement soumises dans leur gisement, certaines houilles se résolvent en menus fragments. Ce morcellement se trouve en quelque sorte préparé par la nature même des roches combustibles qui sont loin d'être aussi compactes qu'on l'admettait jusqu'ici.

### **C. — Rapports existant entre l'importance des vides de retrait des houilles et les développements respectifs des débris organisés et de la pâte qu'elles contiennent.**

J'ai eu à différentes reprises l'occasion de signaler que dans une houille donnée les phénomènes de retrait affectaient très différemment les divers débris végétaux et la houille encaissante et de montrer que dans un certain nombre de cas précis ces fragments végétaux ont, en quelque sorte, déterminé la modalité d'individualisation des fentes de contraction du sédiment organique en voie de durcissement.

L'étude d'ensemble des différents types de houille et de leurs lits élémentaires, que l'on a pris l'habitude de désigner au cours de ces dix dernières années sous le nom de « constituants macroscopiques », m'a permis de pousser beaucoup plus loin l'analyse des phénomènes et de montrer qu'il était possible de dégager *des seuls faits d'observation* une loi objective concernant le développement des vides de retrait des houilles paléozoïques.

Cette loi qui se trouve implicitement exprimée dans la première note que j'ai publiée [180] peut être énoncée de la façon suivante : *Dans une même houille, ou dans un lit élémentaire quelconque d'une houille donnée, le développement et l'importance des vides de retrait sont directement proportionnels à la masse de pâte en présence ou, ce qui revient au même, inversement proportionnels au nombre des débris organisés.*

Dans les lignes qui vont suivre j'exposerai successivement les faits d'observation sur lesquels repose cette généralisation.

#### **a. — Distribution des vides de retrait dans les différents types pétrographiques de houilles.**

J'examinerai successivement les modes de développement des vides de retrait dans les deux grands types pétrographiques de houilles que sont les *charbons de cutine* et les *charbons ligno-cellulosiques* <sup>(1)</sup>.

(1) Pour la définition de ces deux termes décrits à différentes reprises, notamment dans les mémoires [191], [197], [205] et [210], voir plus loin les chapitres consacrés à l'étude des divers types pétrographiques de houilles (Livre I, 3<sup>me</sup> Partie, Chap. XVII à XX).

## 1° — RÉPARTITION DES VIDES DE RETRAIT DANS LES HOUILLES DE CUTINE.

Ces houilles sont surtout représentées par un type très fréquent, les *charbons de spores*, et un type plus rare, les *charbons de cuticules*. On y rencontre encore un type mixte contenant à la fois des macrospores et des cuticules.

a. — *Charbons de spores.*

Dans leur ensemble ces combustibles doivent être considérés comme formés surtout par l'accumulation d'innombrables microspores et de nombreuses macrospores. La pâte y est généralement peu abondante (Fig. 208 à 210, 214, 215), mais peut, néanmoins, y exister en quantités appréciables, soit sous forme d'un ciment plus développé (Fig. 218 et 219), soit à l'état de lits de pâte pure (Fig. 216, 218, 219, 259) <sup>(1)</sup>.

Au point de vue qui nous occupe actuellement et abstraction faite des lits de pâte pure et des lits très riches en pâte, ces combustibles sont surtout caractérisés par la dissémination très régulière dans leur masse de débris végétaux de très petites dimensions <sup>(2)</sup>.

A cette extrême abondance des débris végétaux très exigus correspond la *structure la plus massive* que l'on rencontre dans les houilles proprement dites, structure compacte analogue à celle des Cannel-Coals, roche combustible extrêmement voisine des houilles de spores <sup>(3)</sup>. Ces houilles de spores sont souvent très homogènes comme on peut s'en rendre compte par l'examen des Fig. 208, 210 et 214. Le retrait s'y est manifesté le plus souvent par le développement de *fentes de retrait très espacées* telles que celles dont on observe la jonction sur la Fig. 215. Les blocs de houille limités par ces fentes sont presque toujours de grandes tailles et c'est à la présence de ces vides que l'on doit attribuer le débitage en gaillettes parallépipédiques des charbons à hautes teneurs en matières volatiles dont la plupart sont des charbons de spores.

Lorsque dans les houilles de spores ces organites deviennent moins abondants et que la proportion de pâte augmente, comme c'est précisément le cas pour la Fig. 218, les fentes et vides de retrait deviennent, en règle générale, plus nombreux et plus importants.

β. — *Charbons de cuticules.*

Ces charbons caractérisés par la fréquence des cuticules de feuilles comme corps figurés de grandes tailles contiennent le plus souvent d'innombrables microspores. Les macrospores y font rarement complètement défaut. Formés surtout par des empilements de lits riches en

(1) Les figures citées correspondent aux planches où les houilles en question sont figurées à faibles grossissements ( $\times 7,5$  à 16). Les charbons de spores sont surtout représentés à grossissements moyens et forts ( $\times 55$  à  $\times 1.020$ ) par les Fig. 1 à 57 (Pl. I à XI).

(2) Je rappellerai ici pour mémoire que les macrospores ont moins de 1  $\frac{m}{m}$  de diamètre, que les microspores ne mesurent que quelques centièmes de millimètre et que les autres débris végétaux (tissus ligneux et corps résineux) n'ont joué, eu égard aux spores, que des rôles pratiquement négligeables dans la genèse de ces charbons.

(3) On doit admettre que les *charbons de spores* dans le sens large du terme comprennent les *houilles de spores* dont il est question ici et les *Cannel-Coals* ou *gayets* qui mériteraient surtout le qualificatif de charbons de microspores. Voir : [182].

débris organisés (Fig. 220 et 221) ils contiennent couramment, par places, des lits de houille amorphe (Fig. 222 et 223) constitués par des dépôts de pâte pure <sup>(1)</sup>.

Les charbons de cuticules peuvent présenter des structures aussi compactes que celles des charbons de spores (Fig. 223). Ordinairement ils sont plutôt moins riches en débris végétaux que ces derniers et le pourcentage en pâte très élevé coïncide toujours avec un développement assez intense des vides de retrait qui ont tendance à devenir plus importants et plus rapprochés (Fig. 220, 221 et 223).

C'est cette particularité qui explique pourquoi certaines houilles à hautes teneurs en matières volatiles sont relativement plus fragiles que des combustibles chimiquement analogues.

En résumé, si l'on fait abstraction des lits de pâte pure ou presque pure sur lesquels je reviendrai plus loin, l'on peut affirmer que dans les houilles de cutine caractérisées dans leur ensemble par une distribution régulière d'innombrables débris végétaux de très petites tailles, les phénomènes de contraction se sont surtout manifestés par la production de fentes de retrait très espacées, favorisant le débitage en blocs ou « gaillettes » parallépipédiques, caractéristique des charbons à hautes teneurs en matières volatiles qui sont tous des houilles de spores ou de cuticules.

## 2° — RÉPARTITION DES VIDES DE RETRAIT DANS LES HOUILLES LIGNO-CELLULOSIQUES.

Ces charbons doivent être divisés en deux groupes suivant l'état de conservation des tissus ligneux qui peuvent être gélifiés ou non. Ces deux types qui représentent deux modes d'évolution précoces de dépôts initiaux quasi identiques sont caractérisés, au point de vue pétrographique, par la présence de *lames ligneuses rigides et résistantes à la traction*, de dimensions relativement grandes, et d'une *pâte qui dans l'ensemble est plus abondante que dans les charbons de cutine*.

Cette texture de l'accumulation initiale plus riche en substances amorphes et contenant des débris organisés de plus grandes tailles, mais beaucoup moins nombreux, a déterminé le développement d'un mode de retrait tout différent de celui des houilles de cutine. La présence des lames ligneuses, étalées parallèlement au plan de stratification à des niveaux successifs assez rapprochés, s'est opposée, comme le montrent les Fig. 224 à 227 (Pl. XLVI et XLVII), à la formation de vides ou fentes de retrait ayant un grand développement vertical. Le plus souvent, les fentes ne se poursuivent que dans l'épaisseur d'un seul lit amorphe ou hétérogène compris entre deux lames ligneuses (Fig. 224 et 226). L'action des lames ligneuses sur les vides de retrait verticaux est nettement indiquée par la Fig. 227 où la présence d'une de ces lames T1 a visiblement enrayé le développement vers le haut du vide V situé en dessous d'elle. Cette action des lames ligneuses, qui constituaient dans les dépôts initiaux de ces charbons *une armature rigide ou tout au moins tenace*, s'est exercée aussi bien dans le cas où les tissus ligneux étaient transformés en houille brillante (Xylain ou Xylovitrain, Fig. 194, 195, 225, 226 et 227, 229 à 238), que dans celui où ils se retrouvent à l'état de houille mate (Fusain, Fig. 143, 145, 147, 224, 249, 250 et

(1) A côté des macrophotographies citées, figurant sur les planches XLIV et XLV, consulter aussi les microphotographies des planches XII à XVIII (Fig. 58 à 97).

253) ; caractère qui prouve que la gélification des masses de bois et de sclérenchyme n'entraînait pas un ramollissement excessif de ces tissus qui ont résisté aux efforts de traction provoqués par le retrait des compartiments de houille où ils se trouvaient enchassés.

Dans ces charbons, comme le montrent les figures citées, les phénomènes de retrait ont été en règle générale plus intenses que dans les houilles de cutine et la présence des lames ligneuses, gênant le développement vertical des fentes, a eu pour résultat de provoquer *le morcellement et la multiplication des vides de contraction* ; morcellement et multiplication qui déterminent une moindre cohérence du combustible et qui expliquent dans une large mesure la fragilité fréquente des houilles à teneurs moyennes ou faibles en matières volatiles (h. grasses à coke et anthracites).

Tous ces faits d'observation relatifs aux houilles ligno-cellulosiques trouvent une confirmation très nette dans des structures observées dans certaines régions des lits de houille de cutine. Lorsque dans un point donné d'une veine de ces derniers combustibles on peut constater la présence de lames ligneuses assez nombreuses et suffisamment rapprochées, on remarque immédiatement une limitation verticale des vides de retrait et leur multiplication. Ces faits sont bien visibles sur la Fig. 217 (Pl. XLII) où la contraction se manifeste surtout par la production de vides de décollement horizontaux et par la Fig. 266 (Pl. LVI) où l'action des lames ligneuses est particulièrement nette.

En résumé, si l'on fait abstraction des lits de pâte pure ou presque pure dont il sera question dans le développement suivant, les houilles ligno-cellulosiques sont caractérisées *par la présence d'une armature solide et résistante constituée par des lames ligneuses superposées, mais espacées, étalées parallèlement au plan de stratification et par de nombreux vides de retrait localisés dans les lits amorphes ou hétérogènes compris entre ces mêmes lames ligneuses* ; dispositions qui favorisent leur débitage en « gaillettes » assez fragiles à contours irréguliers.

#### **b. — Distribution des vides de retrait dans les différents lits élémentaires d'une même houille.**

Cette étude va nous permettre de préciser encore les rôles joués par les débris organisés dans le développement des vides de retrait qui se sont produits au cours de la dessiccation du sédiment plastique.

Ces lits élémentaires que j'ai proposé de désigner par les termes de *houille brillante* (Vitrain), de *houille semi-brillante* (Clarain) et de *houille mate* (Durain) [201] sont caractérisés dans cet ordre d'énumération par des teneurs croissantes en débris organisés et par des pourcentages décroissants en pâte, le premier terme (h. brillante) étant constitué par de la pâte pure ou presque pure.

##### **1° CAS DES HOUILLES DE CUTINE.**

Ce cas est le plus intéressant par le fait qu'on y observe un contraste frappant entre la structure massive des lits hétérogènes et le morcellement accentué par les vides de retrait des lits homogènes de pâte pure.

*a.* — *Lits de houille mate (Durain)*. — Ces lits très riches en microspores et en débris de macrospores ou de cuticules contiennent aussi de nombreuses exines de macrospores et des cuticules entières. Tous ces débris organisés se trouvent noyés dans un ciment amorphe souvent très réduit qui s'observe à l'état d'une fine trame brillante et forme çà et là des plages plus importantes. De tels lits visibles à faible grossissement sur la plupart des Fig. 208 à 223 (Pl. XL à XLV) et à grossissements moyens et forts sur un grand nombre des Fig. 1 à 97 (Pl. I à XVIII) ont, en général, *une structure massive*, les fentes de retrait étant souvent très espacées intéressent de nombreux lits superposés et facilitent le débitage en gaillettes parallépipédiques de la roche combustible.

*β.* — *Lits de houille semi-brillante (Clarain)*. — Ces lits ne diffèrent des précédents que par la présence en quantités moindres des mêmes débris organisés et des pourcentages de pâte plus élevés. De tels lits sont représentés par les Fig. 218 à 221 (Pl. XLIII et XLIV) en ce qui concerne les vues d'ensemble et figurent souvent parmi les microphotographies 1 à 97 (Pl. I à XVIII) exécutées à grossissements moyens et forts. Comme le montre particulièrement bien la Fig. 218 et surtout la Fig. 221, au caractère du plus grand développement de la pâte correspond *une structure moins compacte* provoquée par le rapprochement des fentes de retrait.

*γ.* — *Lits de houille brillante (Vitrain)*. — Ces lits constitués par de la pâte pure ou presque pure sont plus rares dans les houilles de cutine que dans les charbons ligno-cellulosiques. Ils sont bien représentés à faibles grossissements sur les Fig. 212 (Pl. XL), 222, 223 (Pl. XLV), et 266 (Pl. LVI) et à grossissements moyens et forts par un certain nombre des figures des planches I à XVIII notamment par les Fig. 18 et 19.

La Fig. 222 montre que les fentes de retrait sont plus nombreuses et présentent des tracés plus compliqués dans le lit de houille brillante Hb que dans la houille mate Hm et dans la houille semi-brillante Hs. La Fig. 223 permet d'observer des faits encore plus nets, le lit de houille brillante Hb contient de nombreuses fentes de retrait verticales ou obliques, tandis que la houille mate (Hm, Hm<sub>1</sub>) n'en contient qu'une. Par contre, dans le lit de houille brillante Hb<sub>1</sub> compris entre les lits Hm et Hm<sub>1</sub> on voit apparaître un certain nombre de vides de retrait verticaux.

La Fig. 212 représente bien l'exagération des phénomènes de retrait dans le lit de houille amorphe Hb<sub>1</sub> et leur réduction dans la houille mate (Hm) où l'on n'observe plus que des fentes verticales assez étroites.

Enfin, la Fig. 266 montre que les phénomènes de retrait sont beaucoup plus importants dans le lit de houille brillante (Hb) que dans la houille semi-brillante (Hs, Hs<sub>1</sub>). Dans ce cas l'action du retrait énergique de la pâte pure ne s'est pas bornée à produire dans la masse du lit Hb de larges fentes verticales, car ces dernières se prolongent sur une certaine hauteur dans les lits adjacents de houille semi-brillante (Hs et Hs<sub>1</sub>).

Les lits de houille amorphe très minces interstratifiés et intimement associés à des lits de houille mate peuvent comme le lit Hb<sub>1</sub> de la Fig. 223 présenter un mode de distribution des vides de retrait très particulier. Les fentes de retrait verticales de grandes tailles y deviennent rares et sont alors remplacées par d'innombrables petits vides arrondis ou polyédriques régulièrement disséminés dans la masse de houille amorphe. Le lit Hb<sub>1</sub> de la dite Fig. 223 permet d'observer une particularité intéressante. Les petits vides sont beaucoup plus nombreux et

comparativement plus grands dans la partie gauche de ce lit presque dépourvu des vides de retrait verticaux que dans la région droite où l'on remarque deux fentes assez larges, comme si l'un des phénomènes était en quelque sorte l'opposé de l'autre. L'extrémité du lit de houille amorphe occupant à mi-hauteur la partie gauche du champ et faisant presque vis à vis au lit Hb<sub>3</sub> de même que le lit Hb<sub>2</sub> de la Fig. 212 présentent des structures celluleuses analogues. Ce sont de telles structures celluleuses ou cavernueuses qui ont été parfois décrites à tort comme structures cellulaires et qui ont servi de point de départ à la théorie inexacte de l'origine ligneuse des houilles brillantes (Vitains).

Lorsque des lits de houilles amorphes très minces alternent régulièrement avec des lits de houille mate d'importance voisine, comme c'est le cas pour les différentes couches superposées de la Fig. 216 (Pl. XLII), on constate que le retrait s'est manifesté dans les lits de houille brillante de façon encore plus diffuse que dans le cas précédent, comme si le mélange intime de lits de houille mate, où la contraction était très faible, et de lits de houille brillante, où elle était beaucoup plus forte, avait imposé aux phénomènes de retrait qui se sont produits dans ces derniers lits leurs formes particulières et diffuses. Les fentes verticales ou obliques ne s'observent que par places, partout ailleurs elles sont remplacées par des petits vides très nombreux qui donnent aux lits de houille amorphe un aspect cellulaire que l'on a eu le tort de décrire parfois comme une structure ligneuse.

À grossissements moyens ou forts la structure cavernueuse présente les aspects que montrent bien les figures 21 (Hb, P<sub>a</sub>), 18 (Hb) et 19 (Hb, Hb<sub>1</sub>, Hb<sub>2</sub>) de la planche V.

Enfin, les Fig. 18, 19 et 20 de cette même planche V montrent un dernier type de retrait de la pâte des houilles qui a déterminé seulement la formation de fines fentes verticales (f) très nombreuses, courtes, rapprochées et toutes parallèles à la normale au plan de stratification.

Cet émiettement des vides de retrait des houilles amorphes imposé par l'association intime de certains de leurs lits et de lits compacts très riches en spores n'est en quelque sorte que la contre partie du phénomène que l'on observe dans les lits de houille mate ou semi brillante au contact de lits importants de houille brillante (Vitain) et où l'on voit, comme dans la Fig. 266, les larges fentes de retrait de ces derniers lits (Hb) se continuer plus ou moins loin dans la masse des lits hétérogènes adjacents (Hs, Hs<sub>1</sub>).

## 2° CAS DES HOUILLES LIGNO-CELLULOSIQUES.

Dans ces houilles les lits que l'on pourrait être tenté de considérer comme les équivalents des houilles mates (Durains) des charbons de cutine sont des lits anormaux riches en substances minérales du type de ceux représentés par les Fig. 280 à 289 (Pl. LIX et LX). La plupart de ces houilles ligno-cellulosiques ne sont constituées que par la superposition de lits de houille semi-brillante (Clarain), de houille brillante (Vitrain) et de masses lenticulaires de Fusain ; ce dernier constituant ne formant que rarement des lits bien individualisés et représentant, en réalité, des débris végétaux de grandes tailles.

a. — *Lits de houille semi-brillante (Clarain)*. — Ces lits peuvent être de deux types très différents. Certains lits très riches en menus débris de tissus ligneux tels que celui représenté par la

Fig. 225 (Pl. XLVI) doivent être considérés comme les équivalents morphologiques des lits de houille mate (Durain) des charbons de cutine. Comme dans ces houilles mates, à l'abondance des débris organisés de très petites dimensions et à leur distribution très régulière dans une pâte très réduite correspond *une structure compacte* que l'on rencontre assez rarement, il est vrai, dans les charbons ligno-cellulosiques.

La grande majorité des lits de houilles semi-brillantes des charbons ligno-cellulosiques sont comme ceux représentés par les Fig. 224, 226 et 227 (Pl. XLVI et XLVII) aussi riches en pâte qu'en débris de tissus ligneux. Ces derniers sont souvent de tailles relativement grandes, circonstances qui, comme je l'ai déjà signalé, empêche ou gêne le développement vertical des fentes de retrait et provoque leur formation en nombre assez grand. La présence de ces nombreux vides, plus rapprochés et disposés irrégulièrement aux différents niveaux séparés par les lames ligneuses, confère à la roche combustible *une structure morcelée* visible sur les trois figures citées et détermine une fragilité qui peut parfois être très accentuée.

*β. — Lits de houille brillante (Vitrain).* — Au point de vue morphologique les lits de houille amorphe des charbons ligno-cellulosiques présentent exactement les mêmes caractères que ceux des charbons de cutine. Associés presque uniquement à des lits de houille semi brillante à structure morcelée, ils sont presque toujours largement divisés par des fentes de retrait verticales, souvent fort larges, réduisant parfois la substance combustible à l'état de piliers (Fig. 267 à 269, Pl. LVI). Comme le montre la Fig. 227 (Pl. XLVII), les fentes de retrait sont beaucoup plus nombreuses et plus rapprochées dans les lits de houille brillante (partie supérieure de la figure) que dans la houille semi-brillante adjacente (partie médiane et inférieure de la macrophotographie). Leur morcellement par les vides de retrait est tel que M<sup>me</sup> STOPES [608] a pu indiquer leur émiettement facile comme un caractère spécifique.

C'est sur ce même caractère des lits de houille brillante (Vitrain) des charbons ligno-cellulosiques que j'ai attiré l'attention à différentes reprises, notamment dans mon mémoire initial [180] <sup>(1)</sup>, caractère dont je reparlerai dans la partie de ce mémoire traitant des constituants macroscopiques des houilles.

La distribution des vides de retrait dans les différents types lithologiques de houille et dans leurs lits élémentaires nous permet de conclure que ce sont presque exclusivement les contractions des masses de substance organique amorphe formant la pâte des charbons qui ont provoqué la genèse des vides de décollement dont le développement était, au contraire, entravé et parfois rendu presque impossible par la présence, en quantités variables, de débris organisés.

En dernière analyse, tous les faits d'observation énumérés démontrent que dans les accumulations initiales aux débris organisés *solides, et par conséquent à possibilités de retrait très limitées*, s'opposaient les substances amorphes formant pâte ou constituant des lits homogènes (h. brillante = Vitrain) dont les facultés de contraction accentuées indiquent nettement la persistance d'une grande plasticité qui ne peut s'expliquer que si l'on admet leur individualisation à l'état de gels colloïdaux résultant de phénomènes de sédimentation par précipitation chimique.

(1) J'ai publié dans ce mémoire [180] des figures (Pl. IV, Fig. 12, ; Pl. V, Fig. 19 et 20) représentant la structure des lits de houille amorphe (Vitrain) qui appartiennent tous à des charbons ligno-cellulosiques.



## II

## MESURE DU RETRAIT DES HOUILLES

## A. — Valeurs relativement faibles des contractions des accumulations végétales primitives.

La question de l'importance du retrait des houilles a été maintes fois abordée en prenant pour point de départ des notions très différentes.

Elle a été souvent soulevée à la suite des recherches chimiques qui ont décelé dans les houilles des teneurs en carbone bien supérieures à celles des substances végétales. En partant de l'hypothèse, aujourd'hui infirmée, de l'origine ligneuse des houilles on est arrivé à cette conclusion que le retrait des couches combustibles, dû en partie à des phénomènes de tassement analogues à ceux des couches de tourbe, pouvait atteindre normalement de très fortes proportions allant du simple au dixième et bien au-delà.

Cette même question a été également abordée en partant de l'allure glandulaire des couches de houille à coal-balls que l'on a attribuée à une diminution d'épaisseur des parties des dites veines de houille non minéralisées qui, dans cette hypothèse, auraient également une origine essentiellement ligneuse. On est arrivé ainsi à admettre un retrait du simple au sixième.

D'après J. CORNET ([137], § 1.080) la valeur du volume définitif d'un charbon a été estimée par les différents auteurs comme pouvant varier entre le *sixième* et le *trentième* du volume du charbon humique mou, cette diminution de volume étant due, d'une part, aux actions microbiennes capables de réduire au cinquième en poids la substance végétale initiale ; ce cinquième restant subissant, d'autre part, par compression et deshydratation, une diminution de volume laissant finalement un résidu représentant fréquemment en volume du douzième au trentième de l'accumulation végétale primitive.

Ces théories qui tendent à justifier logiquement certains résultats expérimentaux et certains faits d'observation aboutissent à des conclusions difficilement acceptables qui se trouvent en contradiction avec les faits d'observation.

Comme le montrent presque toutes les figures des planches de ce mémoire, dans la grande majorité des cas les spores, les cuticules, les corps résineux ou les fragments de tissus ligneux ne se touchent pas, mais *se trouvent, en quelque sorte, en suspension dans la houille amorphe* qui constitue le ciment organique de la roche combustible <sup>(1)</sup>. Même dans les lits de houille mate (Durain), où à faibles grossissements les innombrables microspores paraissent contiguës (Fig., 210, 214, 216, etc...), l'examen des figures exécutées à grossissements moyens (Fig. 1, 2, 5 à 12, 18, 19, 24, 25, etc...) et surtout à grossissements forts (Fig. 14 à 17, 51 à 57) montre que ces débris végétaux microscopiques ne se touchent pas et se trouvent séparés par une fine trame de houille amorphe.

(1) Cette disposition particulière des débris végétaux est visible sur toutes les figures représentant des lits hétérogènes de houille semi-brillante (Clarain) qui sont trop nombreuses pour être citées ici. Les Fig. 13, 20, 22, 23, 26, 58, 82, 139, 143, 145, 146, 229 à 238 exécutées à grossissements moyens montrent très bien ce caractère.

Si l'on ajoute à cela la fréquence des dispositions fluidales des menus débris végétaux, sur lesquelles j'ai insisté à différentes reprises <sup>(1)</sup>, bien visibles sur la plupart des figures, mais particulièrement nettes sur les microphotographies 51, 53, 98, 99, 100, 126 à 130, 137, 138, 228, 231, 235, 238, 299 à 303, etc..., on se rend compte qu'au moment de la prise de la pâte colloïdale les différents vestiges organisés ne reposaient pas les uns sur les autres, mais se trouvaient encore en suspension dans l'eau de la lagune houillère où ils étaient animés d'un mouvement de translation lente. La formation du ciment par voie de précipitation chimique ou bio-chimique est venue immobiliser brusquement, dans la position qu'ils occupaient à un moment donné, tous les débris végétaux flottant dans la lame d'eau reposant sur le fond et a entraîné en même temps que leur fossilisation celle de leurs positions respectives à cet instant décisif de l'individualisation du lit élémentaire de houille qui les contient.

La stratification très fine des débris organisés, celle non moins régulière des lits élémentaires superposés (Fig. 216) et les perturbations apportées dans la stratification des vestiges végétaux par la présence dans ces mêmes lits élémentaires de corps figurés organiques ou minéraux de tailles relativement grandes (Fig. 100, 126 à 130, 217, 299 à 303 etc...) sont autant de faits d'observation concordants attestant que l'arrangement initial des éléments sédimentaires, résultant de phénomènes de précipitation mécanique, n'a pas été modifié après coup par des tassements ou des compressions qui se seraient exercés au début de la diagenèse du dépôt végétal plastique.

D'autre part, les Fig. 254 à 265 (Pl. LI à LV) démontrent clairement que lorsque des actions dynamiques se sont exercées sur les couches de houille elles ont produit des effets purement mécaniques (plis, failles, formation de compartiments, etc.), mais ont respecté dans chaque lit élémentaire la disposition initiale des débris organisés et leur stratification.

En dernière analyse, les arrangements respectifs des débris organisés dans les lits élémentaires et des lits élémentaires entre eux, révélés par l'examen microscopique des charbons, montrent que la *compression et le tassement des masses plastiques qui constituaient les sédiments initiaux n'ont eu qu'une importance négligeable.*

## B. — Valeur réelle du retrait des houilles.

D'après ce qui précède l'on voit que les phénomènes de retrait des houilles se réduisent aux contractions qu'ont pu subir certains débris organisés et surtout au développement des vides que j'ai décrits au début de ce chapitre. La détermination de leur importance revient à rechercher les rôles respectifs joués par les deux constituants microscopiques des houilles.

### a. — Rôle des débris organisés.

Nous avons vu précédemment le rôle important joué par les débris organisés dans le mode de développement du retrait des lits de houille qui les contiennent. J'étudierai ici quel a été le *retrait propre aux fragments végétaux*. La mesure de ce retrait ne peut être faite que d'une

(1) Voir en particulier [180], Pl. III, Fig. 7, et [185], Pl. II, Fig. 10.

façon approximative par comparaison avec celui de la houille amorphe encaissante. Malgré ce caractère approché cette mesure doit néanmoins être considérée comme correspondant d'assez près à la réalité pour les raisons suivantes.

*a.* — J'ai montré précédemment, (p. 221 et suivante) que l'on doit admettre que les couches de houille et leurs lits élémentaires n'ont pas subi de diminutions de volume importantes, caractère qui implique que les débris organisés eux-mêmes ont conservé sensiblement leurs volumes initiaux.

*β.* — La conservation parfaite des débris organisés, qui bien que très morcelés présentent des structures aussi nettes que celles des parties minéralisées, exclut toute idée de diminutions de volume considérables (réductions du 1/10<sup>e</sup> au 1/30<sup>e</sup>) que l'on a parfois admises et souvent invoquées pour expliquer l'impossibilité de mettre en évidence les structures végétales des houilles; impossibilité qui ne tenait, en réalité, qu'à l'insuffisance des procédés d'investigation.

*γ.* — Dans la fabrication du charbon de bois, qui est une véritable synthèse du Fusain des houilles, la carbonisation accentuée qui aboutit à la formation d'un anthracite ligneux s'effectue sans grande diminution de volume de l'ordre de celles que l'on a admises pour les charbons, les diamètres des branches carbonisées différant assez peu de ceux des branches vertes.

Tous ces arguments se trouvent, du reste, confirmés par des faits d'observation précis que je passerai en revue dans les paragraphes suivants.

#### *a.* — MASSES LIGNEUSES.

Ces masses ligneuses de dimensions toujours assez réduites semblent n'avoir subi au cours de leur carbonisation aucune diminution de volume importante de la masse de leur substance même.

Celles d'entre elles qui ont été transformées en houille mate (Fusain) montrent des structures cellulaires nettes qui excluent toute idée de diminution de volume importante, les cavités cellulaires béantes et non déformées attestent, d'autre part, l'absence de compression qui aurait forcément entraîné d'abord leur oblitération avant de provoquer le tassement de la substance ligneuse. Par contre, dans les masses de Fusain le retrait s'est manifesté par la formation de vides analogues à ceux qui se produisent dans les lits hétérogènes, c'est-à-dire d'une façon qui entraînait plutôt une augmentation de volume de l'ensemble qu'une réduction du volume primitif. Cette formation de lacunes due aux phénomènes de retrait est bien visible, en particulier, sur les Fig. 145 à 147 (Pl. XXVIII), 148 et 149 (Pl. XXIX) où elles sont parfois indiquées par la lettre *l*. Les fentes ainsi formées peuvent avoir été comblées par la houille amorphe comme dans le cas de la Fig. 148 (*P*<sub>1</sub>).

Lorsque les lames ou masses ligneuses ont été transformées en houille brillante (Xylain ou Xylovitrain) l'absence de tassement devient évidente et d'autant plus remarquable que dans ce cas il n'est pas douteux que la gélification ait déterminé un certain ramollissement de leur substance.

Ce ramollissement est démontré par la Fig. 119 (Pl. XXIII) où un corps résineux unicellulaire a provoqué par son seul poids la déformation d'une masse ligneuse T1. L'absence de compression est nettement visible sur les Fig. 150 à 152 (Pl. XXIX), 153 à 156 (Pl. XXX), 198 à 200 (Pl.

XXXVIII), 203 à 207 (Pl. XXXIX) etc... où les cavités cellulaires ont gardé leurs formes arrondies, et où l'on observe fréquemment des protubérances ou des digitations (Voir surtout les Fig. 203 à 207) qui dans l'hypothèse d'un tassement auraient certainement disparu les premières. Les Fig. 199 et 200 représentant des cas de gélifications partielles très accentuées permettent de se rendre compte de l'absence d'écrasement et de tassement des régions à structures conservées.

D'autre part, l'absence ou la rareté des vides de retrait dans les masses ligneuses gélifiées et l'obturation des cavités cellulaires par gonflement des parois, faits d'observation bien visibles sur les figures 195 à 207 (Pl. XXXVII à XXXIX), indiquent, au contraire, que la transformation en houille brillante des tissus ligneux s'est produite *avec augmentation de volume* de la substance ligneuse primitive.

Le seul cas où l'on peut constater une diminution de volume des masses ligneuses est celui où elles présentent une structure étoilée (Bogenstruktur) par suite d'une désarticulation très accentuée de leurs tissus constitutifs. Encore, dans ce cas convient-il d'insister sur le fait que cette diminution de volume *résulte uniquement de l'affaissement des files de cellules ou des corps étoilés les uns sur les autres*, le terme *affaissement* étant pris ici dans le sens de la diminution de volume d'un objet sous l'influence de son propre poids à l'exclusion de toute pression extérieure.

La preuve que ces pressions extérieures, génératrices des tassements et des laminations, ne se sont pas exercées nous est fournie par de nombreuses observations, notamment par celles que permettent les Fig. 157 à 175 (Pl. XXXI à XXXIV) où l'on se rend parfaitement compte qu'il subsiste encore entre les corps étoilés des vides importants et que les extrémités parfois très aiguës des étoiles ne sont ni émoussées ni écrasées. Certaines figures montrent même (Fig. 163 à 165) que parfois les files de cellules ou les fragments de cellules ne se touchent pas et sont assez éloignés les uns des autres.

#### β. — CORPS RÉSINEUX.

L'un des caractères essentiels des corps résineux est de présenter en coupes verticales des sections globuleuses attestant très nettement leur résistance à l'écrasement et leur absence de tassement mises en évidence par les Fig. 98 à 183 (Pl. XIX à XXVI). J'ai trop insisté sur ce caractère pour qu'il soit nécessaire d'y revenir ici où je me bornerai à signaler quelques figures qui permettent de se rendre compte que ces débris organisés n'ont pas subi de compressions considérables.

Les Fig. 102, 103, 105, 106, 108 et 109, représentent des corps résineux pluricellulaires où les membranes celluloses ont été détruites par suite d'actions microbiennes. Or, dans ce cas les contenus cellulaires isolés ne se touchent même pas et sont parfois séparés par des vides importants (Fig. 102 et 103) qui se trouvent surtout exagérés dans le cas de la Fig. 110. De telles structures sont incompatibles avec l'idée d'un tassement ou d'une compression si légère soit-elle.

Dans certains cas, il est même évident que la transformation en houille des corps résineux a eu lieu avec augmentation de volume entraînant non seulement la disparition des vides correspondant aux parois cellulaires partiellement résorbées (Fig. 111), mais encore des déformations mutuelles (Fig. 114) et une structure encapuchonnée (Fig. 115) des contenus cellulaires pressés

les uns contre les autres, structure qui indique nettement un gonflement de la substance constitutive de chaque masse élémentaire.

Enfin, les formes arrondies et globuleuses des corps résineux unicellulaires isolés dans la houille (Fig. 118 à 121, 124 et 125, etc...) ou dans certains rayons médullaires à tissus résorbés (Fig. 117) indiquent bien que ces substances molles à tensions superficielles élevées n'ont pas subi de compressions importantes, leur carbonisation s'étant presque toujours produite avec augmentation de volume ; circonstance qui explique leurs formes sphériques différentes de celles qu'elles avaient dans les tissus vivants <sup>(1)</sup>.

#### γ. — CUTICULES ET FEUILLES.

Les études comparatives des aspects des sections de feuilles entières permettent de se rendre compte que dans la plupart des cas la gélification des tissus internes s'est produite sans diminution de volume.

En effet, lorsqu'il y a eu diminution de volume des masses internes l'on constate, comme dans les Fig. 61, 62, 64, 66, 67 (Pl. XII) et 75 (Pl. XIV), des plissements des cuticules qui s'exagèrent dans les cas des Fig. 92, 93 et 95 (Pl. XVIII) où les enveloppes cutinisées présentent des invaginations profondes, se plissent en accordéon et s'effondrent les unes sur les autres. Les structures visibles sur les microphotographies 92a et b, 93 et 95 montrent clairement que ces affaissements se sont produits au sein d'une masse fluide et en l'absence de toute compression.

Au contraire, dans la plupart des cas (Fig. 58 à 60, Pl. XII, 76, Pl. XIV, 87 à 91, Pl. XVII) les tracés convexes des cuticules indiquent que la transformation en houille brillante des masses de tissus internes s'est accomplie sans diminution de volume et que ces organes minces et délicats n'ont pas subi de tassement ni de compressions énergiques.

#### δ. — MACROSPORES ET MICROSPORES.

Par leurs dimensions très réduites <sup>(2)</sup> et leur structure même ces organites devaient être particulièrement sensibles aux actions déformantes et, en particulier, à toute compression capable d'entraîner l'aplatissement des exines constituées par une substance souple et élastique ; souplesse bien mise en évidence par l'existence d'enveloppes de spores repliées sur elles-mêmes (Fig. 40, 41, Pl. VIII), les sections en Y (Fig. 31, Pl. VII) et les fragments d'exine ployées en S (Fig. 39, Pl. VIII).

Or, l'examen en sections verticales démontre que ces sphères creuses à parois molles présentent fréquemment des cas d'aplatissement imparfaits laissant subsister entre leurs parois des espaces parfois considérables. Les Fig. 29, Ms, 35 et 36 (Pl. VII), 52 (Pl. X) montrent des cas très nets où les deux parois de l'exine ne sont pas étroitement accolées, tandis que les Fig. 18 et 19 (Pl. V) permettent d'observer des exines de macrospores dont plusieurs sont très globuleuses (Fig. 19). Ces mêmes caractères s'observent encore sur les microspores dont certaines (Fig. 55, ms<sub>1</sub>, 56 et 57, ms, Pl. XI) possèdent des cavités assez importantes et n'ont pas été comprimées.

(1) Dans les tissus vivants les formes des contenus cellulaires étaient polyédriques comme cela s'observe encore dans les cas de fossilisation exceptionnelle (Voir Fig. 98 et 99, Pl. XIX).

(2) Moins de 1 % de diamètre pour les macrospores, quelques centièmes de millimètre pour les microspores.

Tous ces faits prouvent que l'aplatissement des exines de spores visible sur la plupart des figures des planches V à XI résultait de l'affaissement de leurs parois les unes sur les autres dans un milieu fluide et s'est produit sans l'intervention de phénomènes de compression qui auraient certainement eu lieu si l'alluvion végétale avait subi un tassement si faible soit-il.

Quant à l'importance du retrait des substances cutinisées elles-mêmes, elle peut être facilement appréciée grâce aux Fig. 274 et 275 (Pl. LVII) qui montrent nettement que leur contraction était beaucoup plus faible que celle de la houille encaissante constituée dans les deux cas par de la pâte presque pure. La Fig. 274 nous fournit des indications très précises, un tronçon d'une exine de macrospore s'étant trouvé sectionné par les deux fentes  $V_1$  et  $V_2$  génératrices du noyau de houille N. On peut constater dans ce cas, qu'alors que le retrait a affecté vigoureusement la houille amorphe du noyau N, que les deux parois légèrement disjointes du tronçon de l'exine n'ont subi que des diminutions de longueur et d'épaisseur extrêmement faibles; l'écartement actuel des trois tronçons pouvant être attribué, en majeure partie, au retrait propre aux deux masses de houille situées de part et d'autre des vides  $VV_1$  et  $VV_2$ . Quant à la Fig. 275 elle permet de se rendre compte que le retrait qui a affecté la houille encaissante et déterminé la formation du vide V a été sans action sur les extrémités des cuticules  $Ct_s$  et  $Ct_i$  formant le bord coupant d'une feuille, car dans cette région en porte à faux leur aspect est identique à celui des bords des feuilles des sections de houille massives (comparer en particulier avec les Fig. 58 à 60, 63 et 64, Pl. XII).

L'étude des spores et des cuticules conduit donc à la même conclusion que celle des corps résineux et des tissus ligneux et vient infirmer l'idée d'un retrait important par dessiccation ou par tassement de ces débris organisés.

En résumé, l'étude microscopique des débris organisés des houilles ne permet d'observer aucun fait attestant des diminutions de volume de quelque importance de la substance même <sup>(1)</sup> de ces fragments végétaux. *Tous les faits observés démontrent, au contraire, que les diminutions de volume des débris organisés étaient toujours très faibles ou nulles* et que dans certains cas particuliers *la carbonisation des débris végétaux s'est effectuée avec augmentation de volume* (tissus ligneux gélifiés, corps résineux).

Enfin, le développement de vides de retrait dans certains débris végétaux (tissus ligneux) *indique nettement que leur contraction se produisait en l'absence de toute compression et de tout tassement*, caractère qui est, du reste, mis en évidence *par la disposition même de tous les débris végétaux dans les lits de houille.*

#### b. — Rôle des substances amorphes (pâte des houilles).

De tout ce qui précède, il résulte que les phénomènes de retrait des dépôts végétaux plastiques initiaux *se trouvaient presque exclusivement localisés dans la masse des substances amorphes*

(1) J'insiste sur le fait qu'il s'agit ici de diminution de volume de la substance même entraînant celle de la masse de substance primitive et non des diminutions de volumes d'organes (spores, cuticules des feuilles, corps résineux) ou de parties d'organes (débris ligneux) mutilés ou amenuisés par des actions mécaniques qui n'ont rien à voir avec les phénomènes de retrait.

des houilles formant la pâte des lits hétérogènes et constituant à eux seuls les lits de houille brillante (Vitrain).

Les formes et les modes de développement des fentes de retrait ont été étudiés et décrits précédemment (p. 202 et suivantes), de sorte qu'il n'est pas nécessaire d'y revenir ici où je me bornerai à tirer quelques conclusions importantes pour la genèse des houilles paléozoïques.

*a.* — SIGNIFICATION DE LA LOCALISATION DES VIDES DE RETRAIT DES HOUILLES DANS LES PÂTES OU SUBSTANCES AMORPHES.

La localisation presque exclusive des vides de retrait des houilles dans leurs pâtes et surtout dans leurs lits de pâte pure (houille brillante = Vitrain) souligne d'une façon très nette les différences de nature essentielles que présentaient dans les dépôts primordiaux les débris organisés, d'une part, et les substances initiales des pâtes, d'autre part.

L'absence ou la faiblesse du retrait des débris organisés s'explique facilement par le seul fait que tous ces fragments végétaux étaient des corps solides dont la contraction se trouvait forcément assez limitée comme dans tous les corps présentant cet état. Quant aux augmentations de volume des masses de tissus ligneux gélifiés elles trouvent leur explication dans le fait que toute gélification, se produisant avec fixation d'eau, est toujours accompagnée d'un gonflement plus ou moins considérable.

La localisation du retrait, parfois important, dans les masses de houille amorphe démontre qu'au moment de leur contraction ces masses n'étaient pas à l'état solide, mais présentaient au contraire une certaine plasticité, les contours et les modes de distribution des vides de retrait étant ceux que l'on observe dans les gels colloïdaux à consistance assez faible. Les phénomènes de glissement des masses de houille amorphe le long de certains débris organisés, sur lesquels j'ai insisté précédemment, sont d'autres faits d'observation qui viennent démontrer qu'au moment de l'individualisation des vides en question la pâte des houilles avait une consistance gélatineuse.

La localisation et le mode de distribution des vides de retrait des houilles nous amène donc à conclure que, comme je l'ai admis antérieurement [180], la pâte amorphe des houilles et les lits de houille brillante (Vitrain) dérivent bien de gels colloïdaux résultant d'une sédimentation par voie de précipitation chimique ou bio-chimique de substances organiques en solution ou en pseudo-solution dans la lame d'eau reposant sur le fond de la lagune houillère.

*β.* — CONDITIONS DANS LESQUELLES SE SONT PRODUITS LES PHÉNOMÈNES DE RETRAIT.

L'examen microscopique démontre que les phénomènes de retrait des houilles se sont toujours réalisés avec production de vides, vides qui dans bien des cas pouvaient être considérables, certains lits de houille brillante (Vitrain) contenant 30, 40 et même 50 % de ces vides.

Ce mode d'individualisation du retrait des masses que constituaient les lits élémentaires des houilles implique forcément que le volume même de ces lits ne subissait au cours de leur durcissement aucune diminution considérable, puisque la contraction de leur substance entraînait la formation de vides dont les volumes propres pouvaient être aussi importants que celui de la substance solide qu'ils remplacent, comme cela a lieu dans tous les vides de décollement.

Cette absence de contraction des volumes des lits eux-mêmes et cette production de vides démontrent clairement que lors des phénomènes de retrait les lits où ils se manifestaient *n'étaient soumis à aucune compression ni à aucun tassement*, car dans le cas contraire le premier effet de telles actions aurait été l'obturation de ces vides eux-mêmes. Ces absences de compression et de tassement sont, du reste, très clairement mises en évidence par l'étude de la distribution des débris organisés dans les lits élémentaires des charbons paléozoïques.

Ces absences de tassement et de compression s'expliquent facilement si l'on admet, comme le démontrent du reste certains faits d'observation, *que chaque lit élémentaire une fois individualisé par précipitation de sa pâte à l'état de gel colloïdal durcissait rapidement grâce au passage à l'état solide de cette masse gélatineuse où se manifestait les phénomènes de retrait*.

Ce durcissement rapide des lits élémentaires, tout au début de leur diagénèse et presque toujours avant la formation du lit suivant, est mis en évidence par l'étude des contacts des différents lits élémentaires superposés dans une même houille. En effet, si dans certains cas les déformations des lits sous-jacents (par ex. cas des Fig. 299 à 303, Pl. LXIII) impliquent forcément que ces derniers étaient encore plastiques lors du dépôt du lit supérieur, il existe de nombreux exemples où l'allure rectiligne du contact des différents lits indique bien le durcissement très précoce de chacun d'eux.

Le fait est particulièrement net dans le cas de la Fig. 216 (Pl. XLII) où il est évident que chaque lit de houille brillante Hb (= Vitrain) était fortement sinon complètement durci lors du dépôt des lits de houille mate Hm (Durain) qui les recouvrent. La présence de minces filets de microspores bien rectilignes dans certains lits de houille amorphe semble indiquer que ces derniers eux-mêmes se formaient par couches successives très minces durcissant très rapidement.

Ce passage rapide à l'état solide des lits de houille amorphe, qui implique *a fortiori* un durcissement aussi rapide des lits hétérogènes contenant des débris végétaux solides, est surtout mis en évidence par l'étude des charbons de spores grâce à la fréquence des alternances de lits très différents visibles, en particulier, sur les Fig. 18 à 23 (Pl. V), 122 à 125 (Pl. XXIV), 126 et 127 (Pl. XXV), etc..., mais se trouve également démontré par l'examen de certaines houilles ligno-cellulosiques pauvres en débris végétaux de la classe des anthracites. Beaucoup de ces derniers combustibles sont constitués par des superpositions de lits de houille amorphe (h. brillante = Vitrain) séparés par de minces jonchées de menus débris ligneux, jonchées que l'on peut observer sur les Fig. 231 et 238 (Pl. XLVIII). Cet étalement des petits fragments de bois, qui se manifeste dans les sections verticales par un alignement parfait, implique un durcissement préalable assez accentué des lits de pâte pure sous-jacents.

Le *durcissement précoce* de chaque lit élémentaire se réalisant rapidement pendant l'arrêt de sédimentation qui suivait la prise de la pâte de ce lit *explique pourquoi les phénomènes de retrait se produisaient en l'absence de toute compression et pourquoi dans chacun de ces lits les débris organisés ont pu échapper à tout tassement si faible soit-il*.

#### γ. — CAUSES MÉCANIQUES AYANT DÉTERMINÉ LES FORMES ET L'IMPORTANCE DES VIDES DE RETRAIT.

La régularité d'allure des vides de retrait, leurs variations d'importance et leurs modes d'individualisation indiquent clairement que leur formation obéissait à un certain nombre de lois qu'il est facile de dégager de l'ensemble des faits d'observation exposés précédemment.



J'ai montré antérieurement ([180] et p. 221 de ce volume) qu'il existait des rapports constants entre les dimensions des vides de retrait des houilles et le nombre et la nature des débris organisés qu'elles contiennent, ces rapports pouvant être brièvement résumés comme suit :

1° — Lorsque les débris organisés (spores, cuticules, menus fragments de bois) sont très nombreux et presque juxtaposés et que, par conséquent, la pâte est très réduite, le retrait ne se manifeste visiblement que par la formation de fentes très espacées et les lits apparaissent massifs à l'examen microscopique (Fig. 1 à 138) et même à l'examen macroscopique (Fig. 208, 210, 214 à 216, 219, etc...).

2° — Les débris végétaux de grandes tailles tels que les lames ligneuses de Fusain ou de bois gélifiés étalées parallèlement au plan de stratification des couches de houille ont nettement entravé le développement des phénomènes de retrait en limitant la longueur des fentes verticales ou obliques et les ont obligées à se multiplier. A l'inverse des menus débris qui représentaient des surfaces de contact beaucoup plus considérables, ces lames ligneuses n'ont pas obligé les phénomènes de retrait à se manifester sous une forme diffuse les rendant quasi invisibles. Ce mode d'action des lames de bois ou de sclérenchyme qui « armaient », en quelque sorte, les masses des sédiments plastiques sont bien visibles sur les Fig. 224 à 227 (macrophotographies) et sur la plupart des microphotographies des Fig. 139 à 207.

3° — Dans les lits de pâte pure (houille brillante = Vitrain) le retrait ayant pu se développer librement en l'absence de tous débris végétaux organisés se manifeste toujours sous forme de larges fentes, le plus souvent verticales, comme le montrent très nettement le lit Hb de la Fig. 266, les Fig. 267 à 270 et de nombreuses autres figures réparties sur différentes planches.

4° — Dans les lits riches en pâte, mais contenant néanmoins de nombreux débris végétaux (houille semi-brillante = Clarain), le mode de développement des phénomènes de retrait varie suivant les importances respectives de pâte et de corps figurés en présence. Quasi identique à celui des houilles mates dans les lits assez riches en menus fragments de plantes houillères, il se rapproche du mode d'individualisation des vides importants et nombreux des lits de houille brillante lorsque ces menus fragments deviennent, au contraire, fort rares.

5° — Enfin, le mode de développement du retrait d'un lit donné peut influencer dans une certaine mesure l'allure des phénomènes de contraction des lits voisins, les larges fentes de retrait des lits de houille brillante pouvant se prolonger parfois dans la houille semi-brillante (Fig. 266) ou dans la houille mate (Fig. 212) adjacente ; tandis qu'au contraire dans le cas d'alternances régulières de lits très minces de houille brillante et de houille mate (Fig. 216) la présence de ces derniers a pu imposer aux premiers un développement diflus des vides de contraction.

Il apparaît donc que dans le développement des phénomènes de retrait *les débris organisés ont joué des rôles purement mécaniques*, et il est évident que leur action est analogue à celle que jouent les corps étrangers (graviers, sables) incorporés au liant (chaux, ciment) dans les matériaux de construction, où grâce au développement de grandes surfaces de contact ils répartissent les vides de retrait en les multipliant dans la masse, mais en diminuant le volume de chacun

Dans les houilles très riches en menus débris organisés, le retrait s'est trouvé surtout localisé, comme dans les mortiers, sous forme d'innombrables vides extrêmement petits, régulièrement répartis *sur les surfaces de contact considérables* des nombreux fragments végétaux solides très rapprochés les uns des autres dans le gel colloïdal que constituait leur pâte en voie de durcissement. C'est pour cette même raison que dans les combustibles de ce type, qui sont surtout des charbons de cutine (Fig. 208 à 211, 214 à 216, etc...) et plus rarement des charbons ligno-cellulosiques (Fig. 225), le retrait se manifeste uniquement, de façon tangible, par de rares fentes espacées ne compromettant pas la solidité de l'ensemble et ainsi se trouve expliquée par leur structure microscopique une propriété particulière des houilles à hautes teneurs en matières volatiles (charbons de spores et de cuticules) qui, comme l'ont toujours remarqué les mineurs, sont beaucoup plus compactes et beaucoup plus cohérentes que les houilles moins riches en matières volatiles.

En règle générale, dans les houilles ligno-cellulosiques, les débris de tissus ligneux de dimensions relativement grandes n'existent, même lorsqu'ils sont abondants, qu'en quantités beaucoup moindres que les spores et les cuticules dans les houilles de cutine. Malgré leurs grandes dimensions ces masses ligneuses n'ont présenté *que des surfaces de contact trop peu importantes* et ont été incapables de localiser tout le retrait à leur surface sous forme d'innombrables petits vides, de sorte que celui-ci se produisait alors dans la masse de la houille sous forme de fentes verticales gênées dans leur développement par la présence de ces mêmes lames ligneuses. Ces fentes entravées ainsi dans leur formation restaient assez étroites, mais étaient très nombreuses et relativement rapprochées comme le montre bien la Fig. 224. Les grandes <sup>(1)</sup> lames de tissus ligneux étaient donc incapables d'amener le morcellement presque infini du retrait que réalisent souvent les spores et parfois les menus débris ligneux (Fig. 225) et n'ont pu qu'entraver le développement des fentes des masses plastiques qu'elles armaient de la même façon que les fers noyés dans le béton.

Le mécanisme de la formation des vides de retrait des houilles est donc identique à celui qui se trouve réalisé journellement dans des produits industriels formés à l'origine par de *menus débris solides noyés* dans une *pâte ou ciment plastique et fluide* ; fait qui vient apporter un argument de plus en faveur de la thèse que j'ai toujours soutenue [180] sur le mode de formation du ciment des houilles (substance fondamentale ou pâte) par voie de précipitation chimique et par formation d'un gel d'origine végétale.

En résumé, le retrait propre des débris organisés des houilles n'a joué qu'un rôle infime dans la contraction de la substance des accumulations végétales primordiales, cette contraction s'étant presque uniquement produite par développement de vides fossilisés dans la pâte de la houille où leur présence atteste nettement *que les lits élémentaires des charbons n'ont pas subi de diminutions de volume appréciables de leurs masses propres primitives* ; le volume des vides compensant sensiblement le retrait de la dite substance.

(1) Je rappellerai ici que cette « grandeur » est toute relative comme je l'ai indiqué précédemment.

## Conclusions de l'Étude des vides de retrait des houilles.

L'étude morphologique des vides existant actuellement dans les houilles permet de tirer les conclusions suivantes :

1° — Ces vides ont eu deux origines bien distinctes, ils proviennent, soit du *retrait précoce* qui a affecté les accumulations végétales encore plastiques au cours de leur durcissement, soit du décollement des surfaces de certaines diaclases individualisées beaucoup plus tardivement dans la masse des couches de houille durcies, le plus souvent, au cours des phénomènes mécaniques générateurs des délits schisteux que l'on observe très fréquemment dans les charbons paléozoïques.

2° — Alors que les diaclases d'une houille donnée se développent dans toute sa masse et intéressent des empilements de nombreux lits superposés, les vides de retrait sont beaucoup plus localisés et présentent, presque toujours, dans des lits adjacents des différences d'importance et de mode de distribution qui indiquent nettement la diversité d'origine de ces deux variétés de vides. En règle générale, les vides de retrait sont plus nombreux et plus vastes dans les houilles brillantes amorphes (Vitains) que dans les houilles semi-brillantes (Clarains) et deviennent rares dans les houilles mates (Durains).

3° — L'existence de noyaux de houille contractés, les allures et les formes des vides de retrait démontrent, comme le fait que leur importance est inversement proportionnelle au nombre des débris organisés, que la formation de ces vides résulte de la contraction des substances amorphes (pâtes ou ciments) des houilles au cours de leur passage d'une forme plastique à l'état solide.

4° — La présence de ces vides, dont l'ancienneté est établie par l'existence de remplissages ou de revêtements minéraux, et les absences constantes de tassement des débris organisés et de lamination des lits élémentaires sont autant de faits d'observation concordants qui démontrent que lors de leur durcissement ces lits n'étaient soumis à aucune compression importante qui aurait dû tendre d'abord à l'obturation des vides de retrait.

5° — Cette individualisation du retrait des lits de houille par formation de vides, dont les volumes sont à peu près égaux à ceux de la substance végétale dont ils tiennent la place, implique que la masse même de ces lits ne subissait pas les diminutions de volume importantes que l'on admettait jusqu'ici et que l'on estimait couramment être du simple au douzième et même du simple au trentième.

6° — Les débris organisés des houilles (spores, cuticules, corps résineux, débris de tissus ligneux) n'ont guère subi au cours des phénomènes de dépôt que des diminutions de volume résultant des actions mécaniques qui ont parfois provoqué leur fragmentation. Des faits précis démontrent, par contre, que leur contraction au cours du durcissement des accumulations végétales n'a jamais été très importante et que dans certains cas (bois gélifiés, corps résineux) leur fossilisation s'est accomplie avec augmentation de volume.

7° — Les différences des modes de distribution des vides de retrait dans les houilles de cutine (h. à hautes teneurs en M. V.) et dans les houilles ligno-cellulosiques (h. à teneurs moyennes et faibles en M. V.), déterminées par les diversités de nature des débris organisés et par leur nombre, expliquent pourquoi, comme l'ont toujours remarqué les mineurs, les houilles flam-bantes, grasses à gaz et maréchaies sont plus compactes, plus cohérentes et moins fragiles que les houilles à coke et que beaucoup de combustibles anthraciteux.

8° — Enfin, cette étude démontre que contrairement à une opinion assez généralement admise les houilles ne sont pas des roches absolument massives et que certaines d'entre elles peuvent contenir des vides très importants qui permettent de comprendre pourquoi cette roche se pulvérise si facilement lors des dégagements instantanés de grisou ou de gaz carbonique.

En résumé, l'étude morphologique des vides de retrait des houilles apporte un argument de plus en faveur des idées que j'ai développées sur l'origine des pâtes des houilles en démontrant que dans ces substances amorphes se sont individualisées les fentes de retrait caractéristiques des gels colloïdaux durcis.

Cette étude vient, par contre, infirmer complètement deux notions très généralement admises <sup>(1)</sup> par la plupart de ceux qui ont étudié les houilles en mettant nettement en évidence que les couches de houille n'ont pas été comprimées par lamination ou par tassement et qu'aucun fait d'observation ne milite en faveur de la thèse qu'une couche de houille actuelle ne représente que la douzième et parfois la trentième partie du dépôt végétal primitif.

La faible valeur des tassements et des compressions s'explique facilement par le fait que chaque lit élémentaire d'une couche de houille subissait un durcissement précoce déjà ébauché, le plus souvent, lors du dépôt du lit élémentaire suivant et s'achevant très rapidement alors que le lit en question n'était recouvert que de quelques-uns seulement des lits élémentaires qui le surmontent.

Quant à l'enrichissement en carbone que l'on a tenté de justifier dans l'hypothèse du tour-bage par des compressions et des contractions considérables qui peuvent être vraies pour les tourbes de mousses essentiellement spongieuses, mais qui ne sauraient être envisagées dans le cas des roches à éléments non tassés ni comprimés que sont les houilles, il ne peut être expliqué dans les charbons paléozoïques que par des réactions chimiques ou biochimiques très précoces affectant les substances organiques des débris végétaux ou des solutions colloïdales peut être antérieurement à leur mise en place sur les aires de dépôt. Quelle que soit l'opinion qu'on puisse se faire de ces processus, sur lesquels j'aurai occasion de revenir, ce qui est certain et nettement mis en évidence par l'observation est le fait que les couches de houille se sont individualisées à partir d'accumulations végétales bien moins importantes que celles que l'on admettait autrefois.

(1) L'exactitude de ces notions de compression par tassement et de fortes diminutions de volume des accumulations primitives avait déjà été niée par GRAND'EURY [278] qui, en invoquant des faits d'observation différents de ceux que j'ai développés ici, avait affirmé que *les couches de houille n'ont pas éprouvé une réduction de plus de la moitié de leur épaisseur primitive.*

## SECTION V

## LES STRUCTURES SECONDAIRES DES HOUILLES

LES HOUILLES PLISSÉES OU FRACTURÉES ET LES CASSURES PARTICULIÈRES  
DES HOUILLES

## LES LITS DE HOUILLES REMANIÉES

## PLANCHES LI à LV, LVIII, LXV et LXVI

Toutes les structures des houilles décrites antérieurement doivent être considérées comme des *structures primaires* en ce sens qu'elles résultent du jeu même des phénomènes de dépôt ou de la diagenèse précoce du sédiment organique en voie de durcissement.

Celles qui feront l'objet de cette section devront, au contraire, être considérées comme des *structures secondaires* résultant d'actions qui ont affecté les couches de houille après leur durcissement, actions dont certaines ont pu se manifester très tardivement.

Dans deux chapitres différents j'étudierai successivement les houilles plissées et fracturées ou non et les cassures particulières des charbons, tandis que dans un troisième chapitre je décrirai une roche combustible détritique formée par accumulation de fragments de houille remaniée et les galets de houille des roches stériles.

## CHAPITRE ONZIÈME

**Les houilles plissées et fracturées.**

## PLANCHES LI A LV ET LVIII

## SOMMAIRE.

- I. — LES HOUILLES PLISSÉES. — A. *Les houilles simplement plissées.* — B. *Les houilles plissées, laminées et broyées (Mylonites).* — C. *Les Escaillages charbonneux.*
- II. — LES HOUILLES FRACTURÉES. — A. *Les fractures ou failles des houilles de cutine et des charbons de menus débris végétaux.* — B. *Les fractures ou failles des houilles à grands débris ligneux.*
- III. — MODE DE GISEMENT DES HOUILLES PLISSÉES OU FRACTURÉES. — Leur rareté relative dans les combustibles ligno-cellulosiques. — 1<sup>o</sup> *Houilles plissées des étirements.* — 2<sup>o</sup> *Houilles plissées des zones de glissements.*

## I

## LES HOUILLES PLISSÉES

## PLANCHES LI A LIII

L'étude de ces houilles présente un grand intérêt théorique au point de vue de la question de l'évolution des charbons, postérieurement à leur individualisation, car elle nous permet d'observer *les résultats de certaines des actions mécaniques intenses* qui se sont exercées sur les roches combustibles au cours de leur diagénèse.

Les exemples de houilles plissées ne sont pas rares dans les veines du Nord de la France ou ils se rencontrent presque exclusivement dans les charbons de spores et de cuticules (houilles bitumineuses), les charbons ligno-cellulosiques (houilles à coke et anthracites) ayant plutôt tendance à présenter dans les mêmes circonstances de gisement des structures faillées. Tous les exemples figurés appartiennent aux houilles de cutine.

## A. — Houilles simplement plissées.

Les figures 257a et b (Pl. LII) montrent un bel exemple de houille plissée très régulièrement sans production de fractures importantes et sans morcellement des lits élémentaires. La Fig. 257 représente la partie anticlinale d'un pli dont l'axe n'est marqué que par des failles microscopiques <sup>(1)</sup> peu importantes indiquées en  $f, f', f_2$  sur la figure schématique 61<sup>t</sup>, mais dont les flancs portent des surfaces de glissement plus accusées ( $f_1, f'_1, f_1, f'_1$ ) constituant un complexe de failles directes et de failles inverses. La région synclinale qui occupe surtout le champ de la Fig. 257b, bien que formant un pli moins aigu que la zone anticlinale, présente dans sa partie centrale de nombreuses failles directes et inverses limitant des compartiments à contours plus ou moins compliqués. Le jeu des failles est surtout bien mis en évidence dans la moitié supérieure de la Fig. 257b et dans l'angle supérieur droit de la Fig. 257a là où la présence de plusieurs sections de feuilles entières, tronçonnées par les surfaces de glissement, permettent d'apprécier le rejet de chaque accident. L'une des feuilles en question (Ct<sub>2</sub>, Fig. 61<sup>t</sup> et 62<sup>t</sup>) montre entre ses deux bords coupants situés respectivement à droite et à gauche des failles extrêmes  $f_3$  et  $f'_3$ , quatre tronçons déterminés par le jeu de trois failles parallèles indiquées toutes par la lettre  $f_3$ . La feuille Ct<sub>3</sub> (Fig. 62<sup>t</sup>) est divisée en deux tronçons, son bord coupant se trouvant actuellement à gauche de la faille à tracé oblique  $f_3$ . Entre les deux failles directe et inverse  $f_3$  et  $f'_3$  les deux feuilles Ct<sub>2</sub> et Ct<sub>3</sub> sont en outre plissées par suite de l'action d'une force qui a provoqué la formation de la faille  $f_4$ .

Dans la partie inférieure de cette même Fig. 257b (Pl. LII) le jeu d'une faille oblique  $f'_5$  a été accompagné de phénomènes de rebroussements et intéresse une masse ligneuse gélifiée (X', Fig. 62<sup>t</sup>) et un fragment de Fusain (F) qui ont été ployés et fracturés. Dans le champ de la Fig. 61<sup>t</sup> les deux cuticules d'une même feuille (Ct<sub>1</sub>) sont tronçonnées par deux failles inverses. Sur

(1) Dans les développements qui vont suivre le mot *faille* sera utilisé comme une abréviation de l'expression *faille microscopique* pour désigner des accidents comportant un certain rejet de deux compartiments de houille en contact.

les deux figures l'on peut observer des vides de décollement montrant parfois des noyaux rétractés et représentés en noir sur les schémas 61<sup>t</sup> et 62<sup>t</sup>. Les tracés de ces vides ne sont pas en rapport

FIGURE 61<sup>t</sup>FIGURE 62<sup>t</sup>

FIGURE 61<sup>t</sup> et 62<sup>t</sup>. — Disposition des débris végétaux organisés dans la houille plissée représentée par les macro-photographies des Fig. 257a et 257b (Pl. L II).

L'allure du plissement est indiquée par les alignements de corps figurés et par le tracé des lits de houille brillante (Vitrain) Hb. Les fractures ou failles microscopiques sont surtout bien visibles là où elles intéressent des cuticules (Ct<sub>1</sub>, Ct<sub>2</sub>, Ct<sub>3</sub>).

Ct. — Cuticules.

Ct<sub>1</sub>, Ct<sub>2</sub>, Ct<sub>3</sub>. — Cuticules de feuilles entières plissées et tronçonnées par des failles.

F. — Fusain (houille mate d'origine ligneuse).

f, f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>... — Failles directes.

f', f'<sub>1</sub>, f'<sub>2</sub>... — Failles inverses.

ft. — Faille transversale.

Hb. — Houille brillante (Vitrain).

Hs. — Houille semi-brillante (Clarain).

Ms. — Exines de macrospores.

ms. — Exines de microspores.

X. — Xylain (houille brillante d'origine ligneuse).

Les taches noires représentent des vides de retrait. Certains de ces vides contiennent des noyaux de houille contractés. Les plages en pointillés figurent le Xylain, celles hachurées le Fusain. Les microspores sont représentées par les points-tirets.

avec ceux des failles et leur action sur l'alignement des débris organisés est nettement différente, comme on peut s'en rendre compte en examinant les micro-photographies et les figures explicatives.

Dans le cas des figures citées le plissement n'a pas modifié les alignements respectifs des débris organisés et la disposition des lits dont certains (Hb, Fig. 61<sup>t</sup> et 62<sup>t</sup>) se poursuivent en diagonale dans l'ensemble des deux figures et montrent nettement l'allure des deux plis successifs.

Dans cette houille de cuticules les plissements des feuilles entières et des lits de houille brillante (Vitrain) indiquent bien que les déformations se sont produites au sein d'une masse plastique ou rendue plastique par la compression même qui les a provoquées.

Les figures précédentes permettent d'observer des plis symétriques se faisant suite et don-



FIGURE 63<sup>t</sup>. — Disposition des débris organisés et des failles microscopiques dans le pli asymétrique de la houille de la Fig. 258 (Pl. LIII). Les pointillés, figurant les microspores et les menus débris végétaux indiquent, en partie, les chiffonnements des lits visibles sur la macro-photographie de la Fig 258.

Ct. — Cuticules.		Hs. — Houille semi-brillante (Clarain).
Hb. — Houille brillante (Vitrain).		$f_1 f_1'$ , $f_2 f_2'$ . — Failles secondaires.
$f f f''$ . — Ensemble de failles se raccordant en zigzag et formant l'axe du pli.		

Les vides de retrait représentés par des taches noires sont ici parallèles à la stratification.

nant au charbon en question une allure ondulée assez régulière. La Fig. 258 (Pl. LIII) représente, au contraire, un pli asymétrique dont l'un des flancs est vertical tandis que l'autre montre une inclinaison de 45° environ. Un examen attentif de la surface polie à des grossissements supérieurs à celui de la macrophotographie ( $\times 8$  environ) permet de se rendre compte que la charnière de ce pli est complexe et coïncide, en réalité, avec une faille à tracé en zigzag représentée en traits forts sur la figure schématique 63<sup>t</sup> ( $f f f''$ ) et de constater que les chiffonnements observés dans certaines régions sont en rapport avec deux autres failles grossièrement parallèles à la première  $f_1 f_1'$  et  $f_2 f_2'$ . En outre, il y a lieu de tenir compte du fait que le lit Hb de houille brillante (Vitrain), assez large à droite de la faille  $f f f''$ , n'existe que beaucoup plus mince à droite de cet accident



et disparaît même en partie dans la zone médiane de la figure où il finit en pointe. Ce fait indique que les deux parties situées de part et d'autre de la faille verticale ne se trouvaient pas primitivement sur un même plan et qu'il y a eu glissement de deux compartiments en contact. L'allure lenticulaire des lits de houille brillante permet d'expliquer l'aspect actuel, le décalage ayant amené dans la partie droite de la figure une région marginale beaucoup plus mince que celle de la partie gauche. Ici encore les vides de décollement parallèles à la stratification ne coïncident pas avec les directions des failles.

Dans les deux cas cités précédemment les actions mécaniques génératrices des plissements ont simplement déformé les lits élémentaires où les débris organisés conservent, à ces déformations près, des dispositions normales, les espaces existant entre eux et comblés par la houille amorphe (pâte) ont été maintenus et les cuticules ne sont ni comprimées ni accolées ; caractères qui excluent toute idée de tassement des corps figurés, tandis que leur étalement suivant le plan de stratification, également respecté, permet de mieux apprécier l'allure même du plissement qui a déformé les débris organisés de la même façon que les lits encaissants eux-mêmes.

Dans les houilles plissées décrites, comme du reste dans tous les charbons analogues, les débris organisés sont remarquablement fossilisés et les actions mécaniques qui se sont exercées énergiquement sur les lits en question n'ont nullement modifié l'aspect des spores et des cuticules qui montrent des états de conservation parfaits représentés, en particulier, à grossissement moyen par les Fig. 76a et 76b (Pl. XIV). D'autre part, de tels charbons plissés peuvent être très riches en matières volatiles (40% et plus), caractère qui semble indiquer que le plissement n'a pas modifié sensiblement leur composition chimique pas plus qu'il n'a transformé physiquement leur structure organisée.

## B. — Houilles plissées, laminées et broyées (Mylonites).

Dans le cas précédent (houilles simplement plissées) l'observation montre que les pressions subies n'ont pas dépassé la limite d'élasticité de la roche combustible, les déformations s'étant produites sans aucune dislocation importante. Dans certains cas, au contraire, cette limite ayant été atteinte les lits élémentaires ont été laminés, disloqués et même broyés.

Un cas très net de lits de houille fortement plissés et transformés en brèche de friction (mylonite) est représenté à faible grossissement par les Fig. 254a et b (Pl. LI). Dans le champ de ces deux macrophotographies les lits élémentaires d'une houille de spores décrivent un certain nombre de plis assez compliqués schématisés sur la Fig. 64<sup>t</sup> où leur tracé a pu être précisé grâce à des examens de la surface polie à des grossissements convenables. Ces lits forment un certain nombre de plis anticlinaux aigus ( $p_1, p_2, p_3, p_4$ ) séparés par des plis synclinaux. Dans la région  $p_1$  on peut observer un pli à extrémité arrondie dont les deux flancs s'accolent étroitement comme le montrent les tracés des pointillés de la figure schématique 64<sup>t</sup>. L'allure générale se complique encore par suite de la présence de failles et de vides de décollements qui ont provoqué une véritable mylonitisation de la roche combustible. L'allure des plissements est surtout indiquée à faible grossissement par les tracés sinueux des lits de houille brillante (Vitrain) hb fortement morcelés. A plus forts grossissements (Fig. 255 et 256) cette allure est mise en évidence par la disposition des innombrables spores des lits de houille mate (Durain) hm attestant une défor-

mation générale des lits en question qui au cours des phénomènes de compression se sont comportés, jusqu'à un certain point, comme des masses plastiques.

La Fig. 255 montre la rupture d'un lit de houille brillante (Hb) formant un pli asymétrique avec phénomènes de décollement, la limite de ce lit Hb et du lit de houille mate supérieur étant marquée par des vides assez larges (V).

La Fig. 256 montre, au contraire, des plissements chiffonnés de lits mats (Hm) et brillants

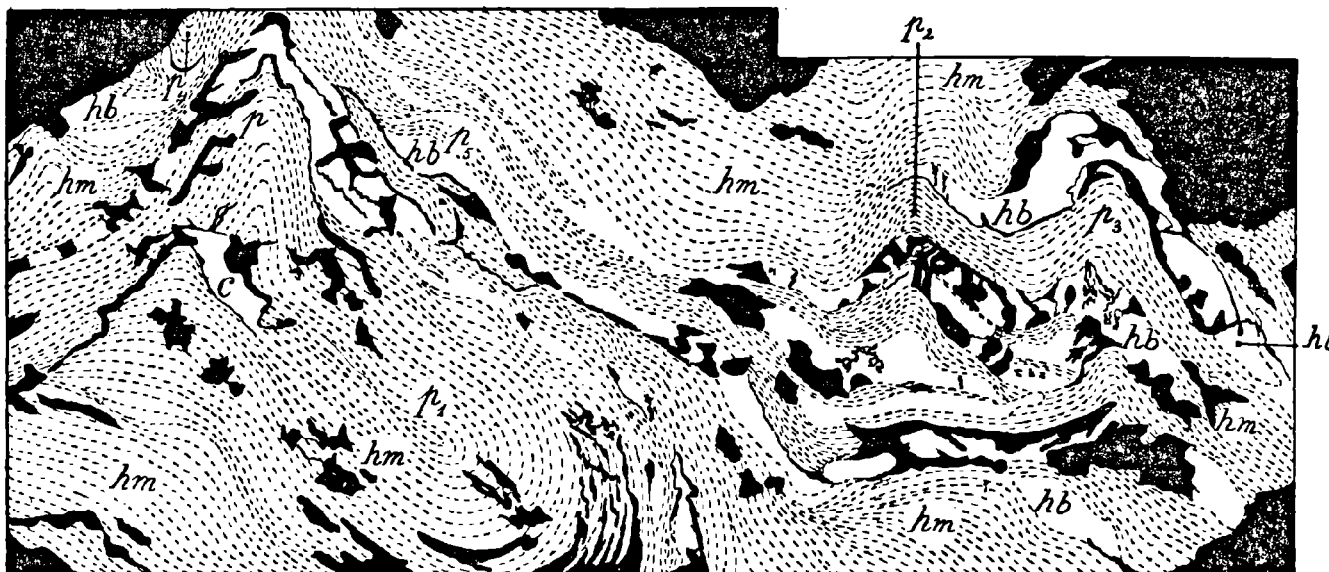


FIGURE 64'. — Allure des plissements et disposition des débris organisés dans la houille plissée, broyée et laminée (Mylonite) représentée par les macro-photographies des Fig. 254a et 254b (Pl. LI).

<i>hb.</i> — Houille brillante (Vitrain).	<i>hm.</i> — Houille mate Durain.
<i>C.</i> — Compartiment de houille brillante, isolé dans la houille mate, et limité par des failles.	<i>p<sub>1</sub>.</i> — Pli de houille à extrémité arrondie et à flancs étroitement accolés.
<i>p<sub>1</sub>, p<sub>2</sub>, p<sub>3</sub>.</i> — Pli aigus anticlinaux.	<i>p<sub>4</sub>.</i> — Petit pli synclinal.
<i>p<sub>5</sub>.</i> — Pli anticlinal secondaire disposé sur le flanc du pli <i>p<sub>1</sub></i> .	

Les fentes de fractures qui ici viennent s'ajouter aux vides de retrait (parties représentées en noir dans la masse de la houille) donnent à la roche combustible son allure bréchoïde.

(Hb) avec formation d'une faille légèrement oblique dans la moitié droite de la microphotographie. Dans l'angle inférieur gauche de cette dernière l'on peut observer des corps résineux arrondis et non comprimés.

Des examens à grossissements convenables mettent en évidence les structures bien conservées des spores et des corps résineux qui, si l'on excepte les déformations et les fragmentations mécaniques, offrent des aspects identiques à ceux de ces mêmes débris organisés fossilisés dans les lits non plissés.

Dans le cas des Fig. 254a et b, comme dans tous les cas similaires, les pressions importantes

qui ont déterminé non seulement le plissement, mais le broyage de la roche ne semblent pas avoir affecté l'état de fossilisation des débris organisés ni provoqué un amaigrissement sensible de la roche combustible.

### C. — Escaillages charbonneux.

C'est à côté des houilles simplement plissées et des houilles broyées et laminées que l'on doit placer les charbons cendreux et les schistes charbonneux ou bitumineux que les mineurs désignent dans notre région sous le nom d'*escaillage* <sup>(1)</sup>. Ces roches forment des sillons au toit, au mur ou dans la masse de certaines veines de charbon, elles sont généralement de teintes foncées par suite de la présence de fortes proportions de substances organiques et formées par des empilements d'écailles irrégulières limitées, le plus souvent, par des surfaces de glissement vernissées et brillantes. Beaucoup sont très fragiles et s'émiettent sous la pression des doigts, mais certaines d'entre elles plus compactes permettent la confection de surfaces polies ou de lames minces.

Un escaillage de la concession de Liévin avait été décrit comme une gelée brune humique tenant en suspension des particules d'argile par C. Eg. BERTRAND [66] et figuré par cet auteur dans le mémoire cité (Pl. III, Fig. 19).

Des recherches poursuivies en partie en collaboration avec M<sup>me</sup> DEFRETIN-LEFRANC m'ont permis de préciser la structure microscopique des escaillages grâce à l'examen en lumière réfléchie de surfaces simplement polies. La structure primaire de ces roches ne diffère pas de celle des charbons cendreux ou des schistes charbonneux ou bitumineux que j'ai décrits et figurés dans ce mémoire (Fig. 280 à 289, Pl. LIX et LX ; 299 à 303, Pl. LXIII). Ils doivent être considérés, presque toujours, comme des schistes à ciment organique où ce dernier constituant forme des filets distincts (houille brillante = Vitrain) alternant avec des lits très riches en particules argileuses rappelant par leur aspect certaines houilles mates (Durain). Seule une structure d'origine secondaire due au plissement des lits élémentaires différencie les escaillages des schistes normaux. Cette structure, qui entraîne également le développement de petites failles, a été représentée antérieurement par une microphotographie et par un schéma explicatif ([213<sup>ter</sup>], Pl. X, Fig. 1 et la, p. 167) qui prouvent que ces structures sont identiques à celles que montrent les houilles plissées et faillées et notamment les Fig. 254 à 257 des planches LI et LII, 61<sup>t</sup>, 62<sup>t</sup> et 64<sup>t</sup> du texte.

Dans les escaillages ce sont les failles très nombreuses à surfaces glissées qui donnent naissance aux écailles lenticulaires irrégulières qui ont valu à ces roches leur appellation génétique.

Les escaillages sont donc les équivalents, riches en éléments clastiques minéraux, des lits de houilles plissées ou faillées dont je viens de parler.

En résumé, l'étude des houilles plissées et des escaillages démontre que les pressions dynamiques génératrices des plissements n'ont entraîné *que des déformations morphologiques d'ordre mécanique* sans altérer l'état de fossilisation des débris organisés et sans provoquer un amaigrissement sensible des lits qu'elles ont affectés.

(1) Les mineurs belges emploient dans le même sens le terme d'*escaillerie*.

En particulier, ces actions dynamiques très intenses dans le cas d'un broyage de la roche n'ont pas entraîné la transformation en houille brillante des lits de houille mate comme le montrent les figures 254a et 254b (Pl. LI).

## II

### LES HOUILLES FRACTURÉES

PLANCHES LIII A LV ET LVIII.

Presque toutes les houilles plissées présentent, au moins dans certaines zones, des régions parcourues par des fractures <sup>(1)</sup> dont j'ai eu l'occasion de parler dans les descriptions précédentes. Par contre, beaucoup de houilles dont les lits élémentaires ne sont ni plissés ni même ondulés permettent d'observer de nombreuses failles en miniatures qui viennent compliquer la structure primaire des roches combustibles.

Les lits non plissés, mais faillés s'observent aussi bien dans les houilles de cutine que dans les houilles ligno-cellulosiques.

#### A. — Fractures ou failles des houilles de cutine et des charbons à menus débris végétaux.

A côté des exemples de charbons de cutine où j'ai déjà signalé la présence de failles (Fig. 254 à 258, Pl. LI à LIII) je décrirai un certain nombre d'exemples typiques choisis parmi les houilles de spores ou les houilles de cuticules.

La Fig. 259 (Pl. LIII) montre un bel exemple de lits non plissés dont l'alignement a été dérangé par des cassures représentées en traits pleins sur la figure schématique 65<sup>t</sup>. Le lit supérieur de houille brillante (Vitrain) Hb a été découpé en deux tronçons par une faille  $f f'$  inclinée à 45° sur la stratification et dont le rejet assez faible a permis aux deux parties de rester en contact dans la région supérieure du tronçon de gauche qui se trouve surtout à l'aplomb d'une portion du lit de houille semi-brillante (Clairain) Hs. Le lit inférieur de houille brillante Hb<sub>1</sub> a subi par suite du jeu d'un certain nombre de failles des déformations accentuées que l'on peut analyser et expliquer de la façon suivante. Un ensemble de failles en zigzag s'étendant de  $f$  en  $f'$  (Ensemble des failles  $f_1, f'_1, f_2$ ) limite un premier compartiment occupant tout l'angle inférieur gauche de la figure. Un deuxième compartiment de surface réduite et de formes trapézoïdales

(1) Le terme *fracture* est pris ici dans un sens synonyme de *faille* en ce sens que les accidents dont il sera question provoquent, aux dimensions près, les mêmes dérangements des lits élémentaires que les accidents très importants que l'on désigne par ce dernier terme. Dans les houilles les rejets sont d'ordre microscopique alors que les failles proprement dites impliquent, au contraire, des rejets considérables. Cette réserve une fois faite les termes *houilles fracturées* et *houilles faillés* seront employés comme rigoureusement synonymes.

est limité de toutes parts par les failles ( $f_1$ - $f_4$ ),  $f'_5$ ,  $f_6$  et  $f_7$ , tandis qu'un troisième compartiment occupe tout le reste du champ de la figure, c'est-à-dire toute la région située à droite et au-dessus des failles  $f_1$ ,  $f_4$ ,  $f'_5$ ,  $f_6$  et  $f_7$ .

Dans les trois compartiments décrits les différences d'épaisseur et d'aspect du lit de houille brillante  $Hb_1$  indiquent nettement que les surfaces de ce lit coupées actuellement par le plan

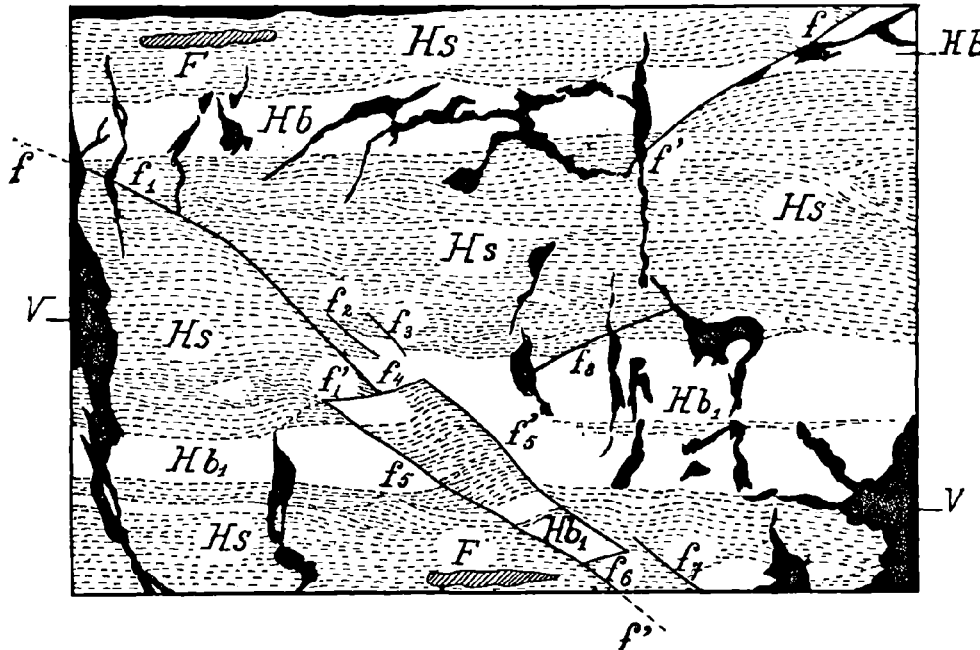


Figure 65<sup>a</sup>. — Allure des dérangements par des failles microscopiques des lits élémentaires de la houille représentée par la macro-photographie de la Fig. 259 (Pl. LIII).

*F.* — Fusain (houille mate fibreuse d'origine ligneuse) figuré par les parties hachurées.

*Hb.* — Lit de houille brillante (Vitrain) sectionné par une faille inverse *ff*.

*Hb<sub>1</sub>.* — Lit de houille brillante divisé en plusieurs tronçons par le jeu de plusieurs failles.

*f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>, f<sub>3</sub>, f<sub>4</sub>, f<sub>5</sub>, f<sub>6</sub>, f<sub>7</sub>.* — Failles directes parallèles les unes aux autres.

*f'<sub>1</sub>, f'<sub>2</sub>, f'<sub>3</sub>, f'<sub>4</sub>.* — Failles inverses sensiblement parallèles à la faille *ff* du lit *Hb*.

*V.* — Vides de retrait.

Les pointillés représentent les microspores et les menus débris végétaux organisés.

Un compartiment de houille à section trapézoïdale, dont les extrémités sont marquées *C* sur la Fig. 259, est limité par les failles *f'<sub>1</sub>, f'<sub>2</sub>, f'<sub>3</sub>, f'<sub>4</sub>* et *f<sub>5</sub>*.

Les Vides de retrait représentés en noir contiennent des noyaux de houille contractée.

unique de la surface polie se trouvaient, en réalité, placées avant le jeu du système de failles sur des plans très différents répartis dans la masse de la houille en question. En effet, dans le compartiment de droite le lit  $Hb_1$  est nettement divisé en deux sillons par une mince traînée de microspores et présente une certaine épaisseur. Dans le compartiment trapézoïdal le lit  $Hb_1$  qui occupe la partie inférieure étroite du dit compartiment est plus mince, mais encore divisé en deux par une jonchée de débris organisés, tandis que dans le compartiment de gauche le même lit  $Hb_1$  s'amincissant graduellement est constitué par un seul lit de houille amorphe. Il est évident

que les différentes sections observées de la droite vers la gauche intéressent des régions de plus en plus minces et par conséquent de plus en plus rapprochées du bord du lit lenticulaire de houille brillante  $Hb_2$ ; régions différentes qui ont été ramenées sur un même plan par le jeu des failles décrites.

Enfin, d'autres failles secondaires ( $f_2, f_3, f_7, f_8$ ) viennent encore compliquer la structure

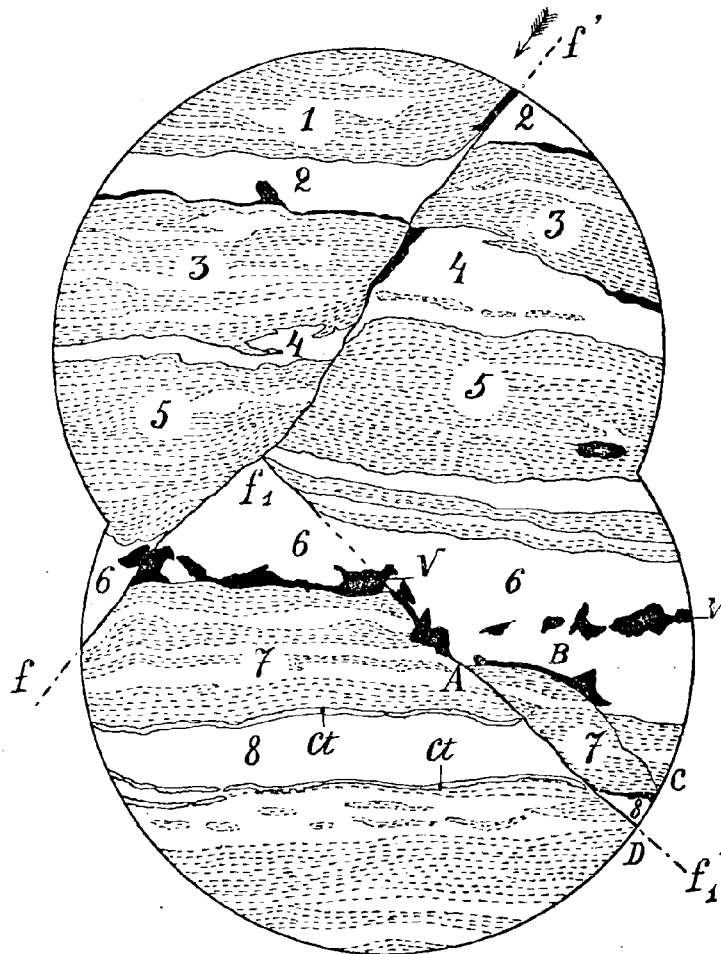


FIGURE 66<sup>t</sup>. — Compartimentation par des failles des lits élémentaires de la houille des Fig. 260a et 260b (Pl. LIV).

1, 3, 5. — Lits de houille mate (Durain).

2, 4, 6. — Lits de houille brillante (Vitrain).

7. — Lit de houille semi-brillante (Clarain).

8. — Section d'une feuille entière limitée par ses deux cuticules Ct.

A B C D — Compartiment de houille limité par des failles.

$ff'$ . — Faille directe.

$f_1 f_1'$ . — Faille inverse.

V. — Vides de retrait.

Les variations d'aspect des lits élémentaires se correspondant dans les trois compartiments en contact s'expliquent par le jeu des failles qui a amené sur la même plan de la surface polie des régions primitivement réparties sur trois plans différents.

de certains lits tandis que la répartition des vides de retrait représentés en noir sur le schéma montre qu'ils dérivent d'un phénomène tout différent de celui qui a déterminé la formation des failles dont le tracé n'a rien de commun avec celui des fentes de décollement.

Les Fig. 260a et b (Pl. LIV) représentent un ensemble de lits parallèles d'une houille de cuticules, ensemble dont les alignements se trouvent bouleversés par le jeu d'une faille directe  $ff'$  et d'une faille inverse  $f_1 f_1'$ , représentées en traits pleins ou en pointillés sur le schéma explicatif ci-contre (Fig. 66<sup>t</sup>). Un examen attentif des régions de la surface de houille qui se trouvent

en dehors des champs des figures 260a et b permet de raccorder les différents lits de houille brillante 2, 4, 6, de houille mate 1, 3, 5, 7 et la section de feuille 8 de part et d'autre du système des deux failles de la façon indiquée par les chiffres. L'ensemble des deux microphotographies représente le point de jonction de trois compartiments de houille qui comprennent tous notamment des tronçons du lit de houille brillante 6. Les différences d'épaisseurs des lits correspondant de part et d'autre des deux failles s'expliquent par le fait que les surfaces de ces trois compartiments recoupés par la section polie correspondaient primitivement à trois plans distincts différemment répartis dans la masse du bloc de houille.

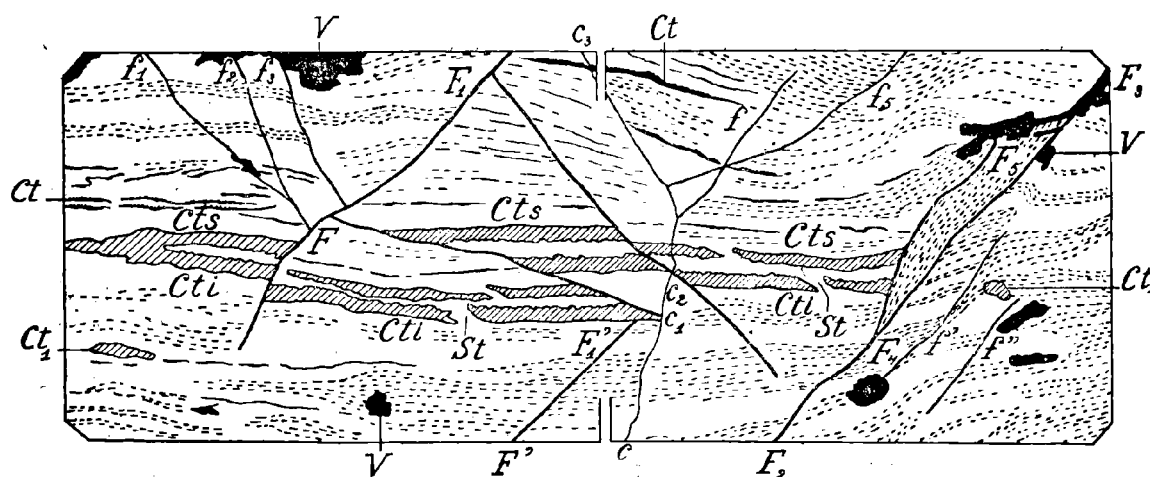


FIGURE 67<sup>t</sup>. — Tronçonnage par des failles d'une feuille entière visible dans la houille représentée par les micro-photographies des Fig 265a et 265b (Pl. LV).

*Ct.* — Fragments de cuticules.

*Cti.* — Cuticule inférieure de la feuille entière.

*FF<sub>1</sub>, F' F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub> F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub> F<sub>4</sub>.* — Failles directes principales.

*f, f', f'', f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>, f<sub>3</sub>.* — Failles directes secondaires.

*c c<sub>1</sub> c<sub>2</sub> c<sub>3</sub>.* — Réseau de fines cassures sans rejet appréciable.

*Ct<sub>1</sub>.* — Courts fragments de cuticules.

*Cts.* — Cuticule supérieure de la feuille entière.

*Fc<sub>1</sub>, F<sub>1</sub> c<sub>1</sub>.* — Failles inverses principales.

*f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>, f<sub>3</sub>.* — Failles inverses secondaires.

*St.* — Stomates de la cuticule inférieure *Cti*.

*V* — Vides de retrait.

Les différentes failles déterminent, dans la masse de la houille, un certain nombre de compartiments dont le jeu a amené sur le plan unique de la surface polie des régions réparties primitivement sur des plans différents.

Les Fig. 265a et b (Pl. LV) permettent d'observer le développement de nombreuses failles dans une houille de cuticules. Ces failles directes et inverses, représentées en traits pleins sur la figure schématique 67<sup>t</sup>, divisent ce charbon en de nombreux compartiments ayant joué les uns par rapport aux autres de façon à amener dans le plan de la surface polie de nombreux plans différents du bloc de houille primitif. Les rejets respectifs, assez faibles, d'un certain nombre de ces failles peuvent être appréciés facilement grâce à la présence des cuticules supérieure et inférieure (*Cts* et *Cti*) d'une feuille entière qui ne s'observent plus à droite des failles *F<sub>2</sub> F<sub>4</sub> F<sub>5</sub>*; caractère qui semble indiquer que le rejet propre à ces dernières failles était, au contraire, assez important. La plupart des compartiments sont recoupés par la surface polie suivant des sections verticales où la stratification reste nette. Cette dernière semble légèrement brouillée dans les

régions comprises entre les failles  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, f'$  et  $f''$  là où la coupe rencontre des sections obliques par rapport à la direction d'étalement des débris organisés.

Sur la Fig. 216 (Pl. XLII) le jeu d'un certain nombre de failles explique la présence dans la masse de lits de houille mate (Durain) de compartiments de houille brillante (Vitrain) indiqués par la lettre C.

Le développement de fractures ou failles microscopiques et de compartiments limités par de tels accidents peut encore être observé sur les figures 210 (Pl. XL), 245 (Pl. L), 263 et 264 (Pl. LV), qui représentent toutes des charbons de cutine.

## B. — Fractures ou failles des houilles contenant de grands débris ligneux.

En règle générale, les failles sont beaucoup plus nombreuses dans les houilles ne contenant que des menus débris végétaux, comme cela est normal dans les houilles de cutine, que dans les charbons contenant des lames ligneuses de dimensions relativement grandes ; la présence de

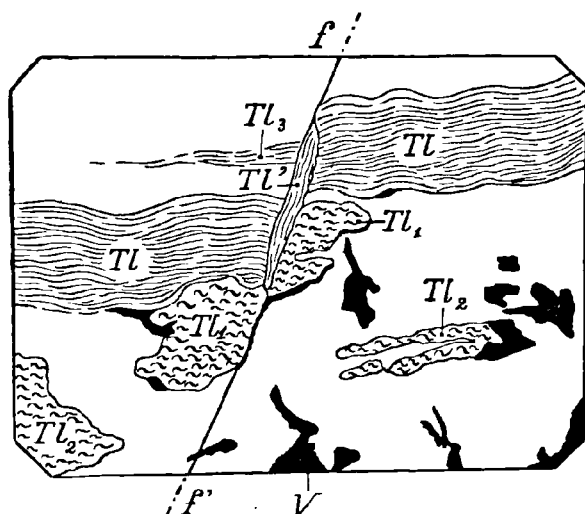


FIGURE 68<sup>t</sup>. — Morcellement par une faille des tissus ligneux de la houille représentée par la microphotographie 261 (Pl. LIV).

*ff.* — Faille oblique sur le plan de stratification.

*TL.* — Lame ligneuse dont les cellules sont coupées longitudinalement.

*TL'.* — Lambeau de poussée provenant de la lame *TL*.

*TL<sub>1</sub>.* — Masse ligneuse dont les cellules sont coupées transversalement.

*TL<sub>2</sub>.* — Fragments de tissus ligneux.

*TL<sub>3</sub>.* — Extrémité d'une lame ligneuse dont la masse principale, située à droite de la faille *ff*, se trouve en dehors du champ de la figure.

telles lames ligneuses, fréquentes dans les houilles ligno-cellulosiques et parfois assez nombreuses dans certaines houilles de cutine, où elles arment en quelque sorte toute la masse, *semblant s'être opposée au développement des fractures, des failles et des glissements* <sup>(1)</sup>

Dans certains cas, néanmoins, les glissements ont déterminé la rupture des lames ligneuses qui permettent alors facilement d'apprécier le rejet de ces failles en miniature.

La Fig. 261 (Pl. LIV) représente le développement d'une faille oblique dans une houille ligno cellulosique. Le jeu de cette faille *ff* a déterminé, comme le montre la figure schématique 68<sup>t</sup>, la rupture d'une lame ligneuse *TL* dont les cellules se trouvent coupées longitudinalement, d'une masse ligneuse gélifiée *TL<sub>1</sub>* se présentant en section transversale et d'une autre lame dont on n'observe dans le champ qu'une extrémité *TL<sub>3</sub>* à gauche de l'accident en question,

(1) Nous verrons plus loin comment l'énergie qui n'a pu se dépenser de cette façon a donné naissance aux cassures particulières et à la schistosité de la houille.



la masse principale de cette dernière se trouvant au-dessus du bord supérieur de la microphotographie. Dans la région de la lame Tl un lambeau de poussée Tl' formé par un fragment de la dite lame se trouve resserré entre les deux lèvres de la faille et intercalé, en particulier, entre les deux tronçons des masses Tl et Tl<sub>1</sub> se faisant vis à vis.

La Fig. 262 (Pl. LIV) montre, dans une houille de cutine, le sectionnement d'une masse ligneuse Tl, par une faille à tracé curviligne figurée en traits pleins ou en pointillés sur le schéma 69<sup>t</sup>, où elle est indiquée par les lettres f et f'.

Les Fig. 276 et 277 (Pl. LVIII) représentent des cas de développement de failles dans des lits de houille pauvres en débris organisés. Les fractures de la Fig. 277 ont entraîné le morcellement d'une barre de clayat (Siderose).

Enfin, les Fig. 216 et 217 (Pl. XLII) représentant des lits adjacents d'un même bloc de houille de spores permettent de se rendre compte que les failles se sont développées dans les lits dépourvus de tissus ligneux (Fig. 216), où elles ont provoqué la formation de compartiments (C), et font complètement défaut dans les lits riches en masses ligneuses tels que ceux de la Fig. 217 où ces masses sont désignées par les lettres Tl.

FIGURE 69<sup>t</sup>. — Action d'une faille microscopique sur une lame ligneuse de la houille représentée par la Fig. 262 (Pl. LIV).

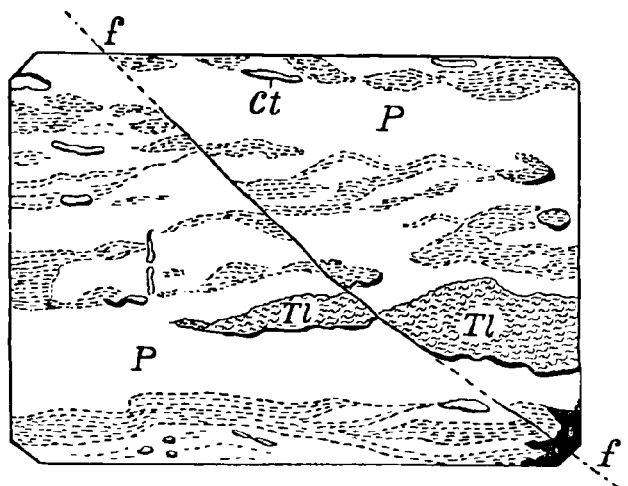
Ct. — Fragment de cuticule.

ff. — Faille.

P. — Pâte de la houille.

Tl. — Extrémité d'une masse lenticulaire de bois fortement gélifié.

Les pointillés représentent les microspores et les menus débris de cuticules.



En résumé, dans les houilles les actions génératrices des failles microscopiques n'ont provoqué que des déformations d'ordre mécanique, car elles peuvent être très nombreuses et sont surtout fréquentes dans les charbons très riches en matières volatiles où les forces qui les ont engendrées n'ont pas modifié sensiblement la composition chimique de la roche combustible ni les états de fossilisation des débris organisés.

### III

## MODE DE GISEMENT DES HOUILLES PLISSÉES ET FRACTURÉES

Sans attribuer aux termes employés un caractère absolu, l'on peut admettre qu'en règle générale les modes de gisement de ces deux types de houille à structures secondaires sont assez différents les uns des autres.

Les houilles fracturées ou faillées représentent une variété de déformations secondaires que l'on peut rencontrer indifféremment dans n'importe quel point d'une veine de houille aussi bien dans les lits plissés que dans les lits normaux, dans les zones où les couches présentent des épaisseurs régulières que dans celles où elles montrent au contraire des serrages (étraintes) ou des épanouissements. Cependant, en règle générale, l'on peut affirmer que les failles comme du reste les plissements sont beaucoup plus fréquentes dans les houilles de cutine, riches en matières volatiles, où abondent de nombreux débris végétaux de très petites tailles, que dans les charbons à coke ou dans les anthracites ligno cellulosiques où la présence des lames ligneuses de dimensions relativement grandes semblent avoir gêné leur développement.

Les houilles plissées, broyées ou non, ne se rencontrent guère qu'en certains points des veines de houilles et ont, par conséquent, des modes de gisement très localisés que l'on peut ranger en deux types distincts :

### 1° Houilles plissées des étreintes.

Les Mineurs désignent sous le nom d'étreintes de brusques serrages des couches de houille dont l'importance se trouve diminuée dans de fortes proportions. Dans ces zones qui alternent parfois avec des régions normales ou avec des renflements des veines l'on observe presque toujours des plissements des lits élémentaires répartis dans toute l'épaisseur de la couche de roche combustible. Dans ce cas, comme je l'ai montré antérieurement [198], le jeu des pressions très localisées n'a entraîné que des déformations d'ordre mécanique sans altération de la structure des débris fossilisés et sans amaigrissement sensible de la masse organique.

### 2° Houilles plissées des zones de glissements.

Dans les régions d'épaisseurs normales des veines de houille les lits de charbon plissés se rencontrent le plus souvent dans le voisinage du toit ou dans celui du mur de la couche combustible. Dans la plupart des cas les plissements n'affectent pas la lame de charbon immédiatement en contact avec le toit ou le mur, mais des couches plus profondes situées à quelques centimètres du contact des stériles. Ces couches montrent alors des surfaces de glissements et même des miroirs de failles qui attestent que dans ce cas elles représentent le joint de stratification suivant lequel s'est produit un déplacement en masse de toute une partie de la couche de houille, déplacement analogue à celui si souvent observé du glissement de la veine entre son toit et son mur.

L'étude de ces régions dérangées des veines de houille où l'on rencontre les charbons plissés laminés et broyés démontre que les surfaces de glissements peuvent se rencontrer non seulement, comme l'a signalé M. P. FOURMARIER [240], dans les roches stériles au voisinage du toit ou du mur, mais encore dans la masse de la houille elle-même, à proximité des contacts de la roche combustible et des roches stériles.

Dans ces zones de glissement comme dans les étreintes la houille semble n'avoir subi que des déformations mécaniques, les débris organisés présentant les mêmes états de fossilisation que dans les lits non tourmentés et les teneurs en matières volatiles pouvant être très élevées.

En résumé, alors que les fractures ou failles microscopiques peuvent se rencontrer n'importe où dans les masses des veines de houille, les plissements n'existent guère, dans le

charbon, que dans les régions très comprimées (étraintes ou serrages) ou dans les lits correspondant aux zones de glissement des couches de roches combustibles lorsque ces zones se sont individualisées dans la veine au lieu de se produire au toit, au mur ou dans les stériles.

### Conclusions de l'étude des houilles plissées et fracturées.

L'étude microscopique des houilles plissées, laminées et broyées et des houilles faillées permet de tirer un certain nombre de conclusions intéressantes au point de vue du rôle joué par certaines actions mécaniques qui se sont exercées au cours de la diagenèse de ces roches combustibles.

1° L'état de conservation des débris organisés des houilles plissées et faillées peut être aussi parfait que celui des fragments végétaux similaires des lits non déformés.

2° Les houilles plissées ou faillées peuvent présenter des teneurs en matières volatiles très élevées de l'ordre de celles des lits non déformés à caractères pétrographiques similaires.

3° Dans aucun cas, comme le montrent les microphotographies publiées, les pressions énergiques génératrices des déformations n'ont provoqué la transformation en houille brillante (Vitrain) des lits de houille mate (Durain) ou semi brillante (Clairain) ; ces derniers lits existant identiques à eux-mêmes aussi bien dans les charbons déformés que dans les houilles normales.

4° Les plissements et les failles microscopiques ne se sont guère développés librement que dans les houilles riches en menus débris végétaux et pauvres en lames ligneuses, ces dernières par leur rigidité s'étant opposées à leur jeu, de sorte que ces accidents sont beaucoup plus fréquents dans les houilles de cutine plus riches en matières volatiles que dans les houilles lignocellulosiques.

5° Les déformations subies par les couches de houille du fait des actions génératrices des plissements et des failles sont donc *d'ordre presque exclusivement mécanique*.

Quant aux causes qui ont déterminé la formation des plis, des fractures et des failles microscopiques que nous observons dans les houilles, il semble que l'on doit surtout les attribuer aux poussées tangentielles qui ont provoqué la déformation du gisement tout entier, de sorte que les accidents en miniature que nous venons d'étudier ont la même origine que ceux plus importants dont ils affectent l'allure.

Dans certains cas cependant ces plis, ces fractures et ces failles microscopiques ont pu résulter d'actions très localisées et il n'est pas douteux que certains accidents de ce genre ont pour origine les déformations des couches de houilles, encore plastiques, au cours de leur durcissement.

Le mode de gisement des houilles fracturées et plissées permet de reconnaître l'origine exacte des déformations dont la genèse s'apparente, dans un cas, au développement des cassures particulières des houilles (Chapitre XII<sup>e</sup>) et dans l'autre à la formation des vides de retrait étudiés précédemment (Chapitre X<sup>e</sup>).

## CHAPITRE DOUZIÈME

### Les cassures particulières des houilles <sup>(1)</sup>.

#### La schistosité des houilles.

##### PLANCHE LXV

###### SOMMAIRE.

- I. — DESCRIPTION DES DIFFÉRENTS TYPES DE CASSURES. — A. — *Les Cassures du type conchoïdal.* — a. Cassures conchoïdales s. s. — b. Cassures œillées et ocellées. — c. Cassures en languettes. — B. — *Les Cassures du type fibreux.* — a. Cassures fibreuses, fusiformes ou cannelées. — b. Cassures coniques ou en « cone in cone ». — c. Cassures flabellées.
- II. — CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES CASSURES PARTICULIÈRES DES HOUILLES. — A. — *Leur répartition dans les diverses variétés de houilles.* — B. — *Fréquences relatives des divers types de cassures.* Leur répartition dans les masses des houilles. — C. — *Structure microscopique normale des houilles à cassures particulières.* — D. — *Aspects propres aux cassures particulières.* Modifications par ces cassures de l'aspect macroscopique primitif des houilles. — E. — *Rapport existant entre les surfaces schisteuses, les diaclases et les failles des houilles et les revêtements minéraux des diaclases.*
- III. — NATURE ET ORIGINE DES CASSURES PARTICULIÈRES DES HOUILLES. — A. — *Existence des cassures particulières des houilles dans certains schistes.* — a. Schistes à cassures œillées. — b. Schistes à cassures fibreuses ou cannelées. — c. Schistes à cassures en « cone in cone ». — B. — *Causes et origines des clivages schisteux des houilles.* — a. Développement de plusieurs directions de schistosité. — b. Genèse des divers types de délits schisteux.

###### CONCLUSIONS.

Cette question ayant fait l'objet de plusieurs publications antérieures ([199], [205], [211]) sera surtout traitée ici à un point de vue presque exclusivement descriptif. Il était néanmoins nécessaire de lui consacrer dans ce mémoire un chapitre séparé, car les conclusions qui se dégagent des seuls faits d'observation qu'elle met en évidence ont une certaine importance en ce sens qu'elles permettent de déterminer de façon précise les rôles exacts des actions mécaniques qui se sont exercées au cours de la diagénèse des charbons.

Le débitage des houilles, et surtout de certaines houilles, a lieu naturellement suivant des surfaces de moindre cohésion qui se reproduisent parallèlement à elles-mêmes suivant un certain nombre de directions particulières à la veine ou à la portion de veine de houille envisagée. J'ai montré précédemment ([199], [211]) que ces surfaces de facile séparation n'ont pas d'individualité propre dans la houille en place, qu'elles prennent naissance en un point quelconque de sa masse sous l'action d'un choc et qu'elles peuvent être provoquées artificiellement ; tous caractères qui démontrent qu'il s'agit d'un véritable délit schisteux en rapport avec l'arrangement de la matière organique provoqué par les tensions internes dues à certaines compressions.

(1). Le terme « cassure particulière » est utilisé ici dans le sens de « cassure à aspect particulier », il ne signifie nullement que ces cassures sont spéciales aux houilles. Je montrerai plus loin qu'on les rencontre, assez rarement il est vrai, dans certains schistes houillers ou autres. Il s'agit, en réalité, de modalités du développement des phénomènes de schistosité susceptibles d'être rencontrées dans toutes les roches à texture schisteuse.

Cette *schistosité*, qui affecte beaucoup de charbons du Nord de la France, se manifeste il est vrai sous un certain nombre de formes si différentes à première vue que leurs véritables caractères et leur origine à partir d'un même phénomène (compression) ont pu échapper longtemps à l'observation alors même que l'on avait cru pouvoir baser sur ces simples caractères secondaires une classification particulière des charbons qui est purement artificielle <sup>(1)</sup>.

Avant de définir les différents types de clivages schisteux des houilles, je tiens à bien spécifier *que les termes que j'utiliserai pour les désigner n'ont à mes yeux qu'une valeur descriptive* ; leur choix ayant été déterminé uniquement par le désir d'employer des mots exprimant aussi exactement et aussi simplement que possible des *aspects macroscopiques* dont les analogies avec des structures observées dans d'autres roches ne signifient pas forcément des identités d'origine.

Le délit schisteux des houilles se manifeste par un certain nombre de cassures particulières qui peuvent toutes être rangées dans deux groupes participant respectivement

1° — *de cassures conchoïdales*,

2° — *de cassures fibreuses ou cannelées*.

## I

### DESCRIPTION DES DIFFÉRENTS TYPES DE CASSURES

#### A. — Les cassures conchoïdales.

CASSURES CONCHOÏDALES *s. s.*, CASSURES OËILLÉES, CASSURES OCELLÉES ET CASSURES EN LANGUETTES.

Toutes les cassures de ce type rappellent, plus ou moins exactement, les surfaces de fractures conchoïdales caractéristiques de certains minéraux ou de certaines roches à texture compacte. Ces cassures donnent naissance à des surfaces simples ou complexes plus ou moins étendues à éclat brillant, parfois vernissé, constituées généralement par un certain nombre de zones concentriques traversées par des stries radiaires. Dans les houilles elles peuvent affecter trois formes distinctes que je décrirai successivement.

#### . A. — Cassures conchoïdales stricto-sensu.

Cette cassure est extrêmement fréquente et il est probable qu'elle existe tout au moins dans certaines régions de toutes les veines de houille. Elle s'observe surtout dans les parties des couches de houille qui sont à l'état de houilles bitumineuses (charbons de cutine) ou de houilles anthraciteuses (charbons ligno-cellulosiques à pâte dominante), leur développement, comme du reste toutes les autres manifestations de la schistosité, semblant lié à une *certaine homogénéité de structure* des roches combustibles. Elle est plus rare dans les houilles à coke où la présence de

(1) Tels sont les termes « Charbons œillés » (Augenkohle), « Charbons pyramidaux » (Pyramidenkohle), « charbons en boules » (Kugelkohle), etc..., qui ne désignent que des structures secondairement acquises par des combustibles à structures primaires très différentes et à compositions chimiques très diverses.

lames ligneuses relativement grandes semble s'être opposée mécaniquement à leur développement de la même façon qu'elles ont entravé le jeu des failles microscopiques et la formation des plissements.

Dans les charbons très homogènes, tels que certains anthracites riches en pâte (houille amorphe), les cassures conchoïdales peuvent se présenter sous forme de surfaces assez étendues, onduleuses, brillantes et lisses rappelant l'aspect de certaines surfaces de glissement avec lesquelles elles se confondent au moins partiellement. Dans les houilles bitumineuses, où l'homogénéité de l'ensemble n'exclut pas une certaine hétérogénéité de composition <sup>(1)</sup>, l'aspect chagriné des cassures dû à une texture grasse empêche le plus souvent le développement de grandes surfaces conchoïdales là où il n'y a pas eu de glissements et production de miroirs de failles. Les cassures conchoïdales revêtent alors un caractère plus localisé dont les Fig. 317 et 318 (Pl. LXV) donnent une idée exacte. Les surfaces de grande cohésion affectent ici des tracés semi-circulaires (Fig. 318) ou de triangles à un côté curviligne (Fig. 317) rappelant ceux de certaines coquilles de mollusques lamelibranches. La présence de stries concentriques imite parfois très exactement (Fig. 318) les zones d'accroissements successifs des dites coquilles, tandis que le développement de stries radiales (Fig. 317) rappelle les côtes ornementales des valves de certaines espèces de mollusques acéphales. Ce type de cassures qui se répètent comme le montre la Fig. 317 sur différents plans successifs mérite donc mieux que tout autre le nom de cassure conchoïdale.

La Fig. 324 qui est une *microphotographie* d'une surface polie exécutée à 55 diamètres montre que les cassures conchoïdales des houilles sont bien déterminées par un arrangement de la matière, arrangement si intime que dans le cas de la houille en question un dressage et un polissage énergiques à l'aide d'abrasifs puissants, dont l'action est attestée par les stries parallèles et obliques, n'ont pu faire disparaître, même au bout d'un certain temps d'expérience et après une usure sensible de l'échantillon, les structures conchoïdales qu'on peut y observer. Cette figure permet donc d'affirmer, comme l'indique du reste la répétition des surfaces de cassures conchoïdales sur des plans parallèles, *qu'il s'agit bien d'une schistosité particulière en rapport avec la disposition des particules matérielles des houilles, schistosité provoquée par certains phénomènes de compression générateurs de tensions internes susceptibles d'engendrer de telles dispositions.*

### B. — Cassures œillées et ocellées <sup>(2)</sup>.

Ce type de cassure *qui n'est qu'une variété de cassure conchoïdale* correspond à une manifestation de la schistosité des houilles que l'on rencontre surtout dans les mêmes types de charbons (ch. bitumineux compacts et ch. anthraciteux riches en pâte). Il ne diffère de la cassure conchoïdale ordinaire que par la forme des surfaces de grande cohésion.

Dans ce cas, ces surfaces présentent des contours arrondis ou ovalaires et se trouvent isolées dans une masse de houille à cassure normale (Fig. 313 à 316, Pl. LXV).

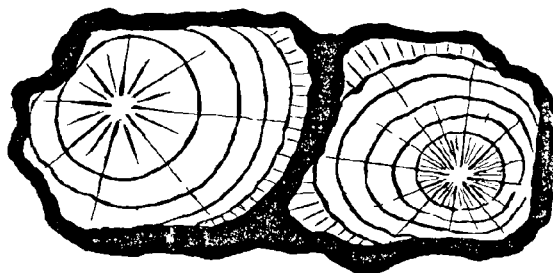
(1) Ces houilles étant constituées par d'innombrables microspores ou de fragments de cuticules noyés dans une pâte peu abondante.

(2) Ce sont ces structures œillées, à surfaces de très petites dimensions, que M. X. STAINIER a proposé tout récemment de désigner par le terme *structure ocellée*, les surfaces de décollement étant elles-mêmes désignées par le nom d'*ocelles* (du mot latin *ocellus* = petit œil) dans un intéressant Mémoire [602 bis] où il a décrit les cassures particulières de nombreuses houilles belges. [Note ajoutée pendant l'impression].

Ces surfaces peuvent être constituées par des zones concentriques et présenter des aspects généraux rappelant celui d'un œil (Fig. 313 et 314). Dans certains cas (Fig. 315 et 316) le limbe ou auréole extérieure élargie (a) peut présenter des contours polygonaux et porter lui-même des stries concentriques ou radiaires.

Ces yeux restent rarement isolés dans une masse de houille et se répètent parallèlement à eux-mêmes <sup>(1)</sup>, soit sur un même plan, soit sur deux plans voisins. Sur la Fig. 316 l'on peut observer à côté de la grande surface œillée (a, b) l'amorce d'une deuxième surface semblable (c), tandis que les yeux représentés par les Fig. 313 et 315 existent sur deux faces parallèles d'un même échantillon.

Presque toujours, comme le montre la Fig. 310, les yeux très nombreux sont disposés côte à côte sur des systèmes de plans parallèles plus ou moins obliques sur le plan de stratification.

FIGURE 70<sup>t</sup>

Figures schématiques représentant le détail de la structure des « yeux » (d'après la fig. 310, Pl. LXV).

FIGURE 70<sup>t</sup>. — Aspect des « yeux » vus de face et montrant les stries radiaires et les zones concentriques.

FIGURE 71<sup>t</sup>. — Surface œillée vue en coupe. On y distingue l'allure étagée des zones concentriques.

FIGURE 71<sup>t</sup>

Ce plan de stratification dont la trace est SS' a été placé horizontalement, tandis que les différents plans qui portent les yeux font un angle de 45° environ avec le plan de la figure et plongent tous vers le haut. Cette disposition rappelant la superposition des tuiles d'un toit donne naissance à un ensemble de facettes qui miroitent toutes en même temps. Des facettes analogues s'observent sur l'autre face de l'échantillon où elles se trouvent réparties sur des plans sensiblement parallèles et offrent des aspects semblables. La présence d'enduits de pyrite sur les surfaces œillées déterminent des halos, impossibles à éviter, qui font que la photographie ne permet pas de juger parfaitement de la structure complexe des yeux qui est représentée d'une façon schématique par les Fig. 70<sup>t</sup> et 71<sup>t</sup>. Ces yeux (Fig. 70<sup>t</sup>) ne diffèrent pas sensiblement de ceux visibles sur les Fig. 313 à 316 et sont constitués comme ces derniers par un point central lisse ou brillant entouré d'auréoles concentriques avec stries radiaires plus ou moins rapprochées. La plupart de ces yeux possèdent un limbe extérieur strié analogue à celui de la Fig. 316 (a). En section

(1) Il ne paraît pas douteux que ce sont des surfaces œillées de ce type, se reproduisant sur des faces opposées de certains échantillons de houille qui ont été décrites autrefois comme sections de branches ou de racines.

normale à leur surface les différentes auréoles des yeux ne sont pas disposées sur un plan unique, mais étagées, comme le montre la Fig. 71<sup>t</sup>, sur des ensembles de plans parallèles formant suivant les cas des complexes convexes ou concaves se comportant de la même façon que l'empreinte et sa contre empreinte.

Un bel échantillon de houille anthraciteuse de la concession d'Ostricourt, exposé au Musée houiller de Lille, montre un exemple particulier de structure œillée, les facettes de clivages très rapprochées étant lisses et à contours polygonaux. Cette cassure se manifeste suivant un plan oblique sur la stratification et son éclat est encore plus vif que celui de la houille elle-même presque entièrement formée de charbon brillant.

Les trois exemples cités, choisis parmi des anthracites (Fig. 313 à 316) et des houilles bitumineuses (Fig. 310, 70<sup>t</sup> et 71<sup>t</sup>) riches en matières volatiles, représentent des cas relativement rares où les « yeux » ont des dimensions assez grandes. Le plus souvent, les surfaces de décollement ont des superficies plus réduites (parfois quelques millimètres) et leur disposition en quinconce rappelle alors l'aspect des yeux composés observés sur certains trilobites parfaitement fossilisés et d'une façon plus générale chez les insectes. M. G. H. ASHLEY [4] a désigné par le nom de « *Bird's Eye* » Cannel-Coals certains combustibles américains <sup>(1)</sup> contenant de tels yeux.

### C. — Cassures en languettes.

Malgré des aspects à première vue très différents les cassures en languettes ne représentent qu'une forme particulière de cassure conchoïdale ou de cassure œillée. Les languettes à bords rectilignes se décomposent généralement en bandes secondaires plus étroites s'étagant sur plusieurs plans. Elles ont un aspect brillant et un éclat vif qui permet de les confondre à un examen superficiel avec les lits de houille brillante (Vitrain).

Comme le montre bien la Fig. 311 (Pl. LXV), ces languettes n'existent qu'en surface et peuvent s'interrompre brusquement, l'une d'entre elles *l* réapparaissant seule à droite de la lacune centrale. Quant à la languette inférieure *l*<sub>1</sub> elle montre la division en bandes secondaires réparties sur plusieurs plans. La Fig. 312 qui représente une vue de côté du même échantillon permet de se rendre compte de la structure compacte du charbon formé entièrement de houille mate grenue (Durain).

Le mécanisme de la formation des languettes s'observe nettement dans les régions marquées *l*, de la Fig. 310 où l'on voit que les bandes brillantes résultent de la juxtaposition sur un même plan d'yeux se recouvrant partiellement. Lorsque les languettes sont de quelque importance il n'est, du reste, pas rare de rencontrer à leur surface des plages arrondies rappelant l'aspect des yeux ou des cassures conchoïdales.

En résumé, les cassures du type conchoïdal font naître dans les charbons des surfaces de clivage qui sous des aspects à première vue assez divers (C. conchoïdales s.s., C. œillées ou ocellées, C. en languettes) ont un certain nombre de caractères communs et procèdent nettement des mêmes causes initiales. Ces surfaces peuvent être lisses ou fibreuses, mais possèdent un éclat très vif indépendant de celui de la houille affectée qui, suivant les cas, pouvait être originellement mate ou brillante.

(1). Voir la note infrapaginale (2) de la page 250.



## B. — Les cassures fibreuses ou cannelées.

CASSURES FIBREUSES s. s., CASSURES EN « CONE IN CONE », CASSURES FLABELLÉES

Les cassures fibreuses ou cannelées sont beaucoup plus fréquentes que celles du type conchoïdal. Elles sont toutes caractérisées par des surfaces de grande cohésion plus ou moins onduleuses et à éclat parfois assez vif, mais le plus souvent à aspects plus ou moins ternes. Elles peuvent coexister avec les cassures précédentes, mais alors que presque toujours ces dernières ne se développent dans un même bloc de houille que selon une seule direction, les cassures fibreuses se manifestent fréquemment suivant plusieurs directions non parallèles et déterminent le débitage en polyèdres plus ou moins réguliers.

### A. — Cassures fibreuses fusiformes ou cannelées.

Dans sa forme la plus simple la *cassure fibreuse ou cannelée*, au sens strict, est caractérisée par des surfaces de débitage faiblement ondulées, striées ou cannelées parallèlement à une seule direction. Les fibres peuvent affecter l'allure de fuseaux effilés à leurs deux extrémités et offrir l'aspect représenté par la Fig. 322, Pl. LXV)

Ces surfaces se répètent parallèlement à elles-mêmes et on peut les faire naître en de nombreux points d'une même « gaillette » grâce à des actions mécaniques telles que le choc du marteau ou l'intrusion d'une lame de canif ou d'un burin.

Le plus souvent, les surfaces fibreuses sont assez fréquentes et assez rapprochées pour donner à certaines houilles une structure schisteuse nette qui coïncide toujours avec une grande fragilité. Certaines houilles se débitent ainsi en minces écailles limitées par des surfaces fibreuses brillantes lorsqu'elles sont légèrement glissées, mais ordinairement ternes ou présentant tout au plus un lustre satiné.

### B. — Cassure conique ou en « cone in cone »

Dans certains cas les fibres élémentaires qui caractérisent les cassures précédentes présentent des arrangements compliqués qui donnent aux surfaces de clivage une allure très particulière rappelant l'aspect caractéristique de la structure désignée par le terme *cone in cone* <sup>(1)</sup>.

L'exemple le plus typique que j'ai pu observer est celui que montre un échantillon exposé dans les galeries du Muséum d'Histoire naturelle de Paris. Dans ce cas, les cones ont une individualité propre et sont limités sur presque tout leur pourtour par des surfaces cannelées. Les deux parties de l'échantillon qui portent les cones en question s'emboîtent et s'engrènent exactement comme les dents de deux mâchoires opposées. Pour cet échantillon il n'est pas douteux que l'expression de structure en *cone in cone* doit être appliquée.

Parmi les houilles du Nord de la France l'on rencontre assez fréquemment des *surfaces de fractures* qui montrent de beaux exemples de cones s'emboîtant les uns dans les autres tels que

(1). J'ai donné antérieurement la bibliographie concernant l'emploi du terme « *cone in cone* » qui n'a guère été utilisé jusqu'ici que pour désigner des *structures* dont les origines restent mystérieuses. Cette bibliographie figure notamment dans le mémoire suivant : [205], page 481, note 3.

ceux que représentent la Fig. 320 (Pl. LXV) où la structure fibreuse de chaque surface conique apparaît très nettement. Dans ce cas, il ne s'agit pas de cônes complètement isolés, mais de surfaces coniques représentant au plus des demi-cônes. Cependant l'emboîtement très net de ces demi-cônes les uns dans les autres ne permet guère d'employer pour les désigner un autre terme que celui de *surfaces en « cone in cone »*.

Ces structures sont sinon très communes du moins assez fréquentes dans les houilles et ont été notamment signalées par DELESSE [156] qui dès 1857 a figuré une houille de Swansea dans la planche VI du mémoire cité et insisté sur les analogies de ces cônes avec les structures décrites en Angleterre sous le nom de « *cone in cone corals* ». Ce sont également les houilles qui offrent cette particularité de structure que M. R. POTONIE a figurée récemment ([487], Fig. 16 et 17) sous le nom de « *Pyramidenkohle* ».

Les cônes de grandes tailles comme ceux de l'échantillon du Muséum de Paris ou de la houille représentée par la Fig. 320 sont relativement rares, mais les cônes de dimensions plus modestes doivent être considérés comme fréquents, notamment dans beaucoup de nos houilles anthraciteuses.

### C. — Cassures flabellées <sup>(1)</sup>

Dans la note citée précédemment [602 bis] M. X. STAINIER a très judicieusement proposé de réserver le terme de *cone in cone* aux seuls cas typiques tels que ceux que je viens de rappeler et d'appliquer la dénomination de « *structure flabellée* » très anciennement employée, à certaines textures beaucoup plus communes des surfaces de clivage des houilles. A mon avis ce nouveau terme pourra être avantageusement utilisé pour désigner des structures intermédiaires entre les cassures fibreuses et les cassures en « *cone in cone* » des houilles paléozoïques.

## II

### CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES CLIVAGES SCHISTEUX DES HOUILLES

Malgré les grandes diversités d'aspects qui ont été décrites précédemment, les cassures particulières des houilles présentent un grand nombre de caractères communs qui démontrent qu'elles sont des *manifestations différentes de phénomènes identiques* et qu'elles résultent d'une véritable *schistosité* de la roche combustible.

#### A. — Répartition des différents types de clivages schisteux dans les diverses variétés de houille.

Dans le Bassin houiller du Nord de la France les différents types de cassures peuvent se rencontrer indifféremment dans n'importe quelle variété de houille et existent aussi bien dans les plus riches en matières volatiles que dans les combustibles les plus maigres.

(1) Paragraphe ajouté en cours d'impression.

On les observe surtout dans les charbons dont la *texture d'ensemble* présente une *certaine homogénéité*, caractère qui explique qu'elles sont beaucoup plus fréquentes dans les houilles bitumineuses (h. de cutine), où les spores et les cuticules jouent un rôle nettement prépondérant, et dans les anthracites et les houilles anthraciteuses (houilles ligno-cellulosiques à tissus ligneux gélifiés à pâte prédominante) que dans les houilles à coke. Dans ces dernières, qui appartiennent comme la plupart des combustibles anthraciteux à la catégorie des houilles ligno-cellulosiques, la présence de nombreuses lames ligneuses bien conservées et rigides *semble s'être opposée au développement de la schistosité que représentent les cassures particulières* de la même façon et pour les mêmes raisons *qui ont gêné et empêché la formation des plis ou des failles* dans ce même type de charbons.

Ce mode de répartition n'est pas spécial au gisement du Nord de la France et les faits suivants permettent d'affirmer que ce caractère est en réalité très général.

L'examen d'une très grande quantité de houilles maigres de provenances diverses (Nord de la France, Belgique, Hollande) m'a permis de constater que les cassures particulières les plus communes, les cassures fibreuses ou flabellées, sont extrêmement fréquentes dans tous ces anthracites ou ces houilles anthraciteuses d'origines très différentes où elles font rarement complètement défaut. J'ai rencontré tout aussi souvent ce même type de délit schisteux (c. fibreuses ou flabellées) dans les houilles bitumineuses (h. de cutine) du bord sud du gisement et dans tous les combustibles similaires que j'ai pu observer. Dans le Bassin de Mons (Belgique) elle est si abondante dans les charbons à hautes teneurs en matières volatiles que, d'après M. X. STAINIER, les mineurs la désignent sous le nom de « *maille du flénu* ».

Quant aux cassures œillées ou en languettes, qui sont des types moins fréquents, les exemples cités et figurés (Pl. LXV, Anthracite de Messeix, Fig. 313 à 318, Houille grasse à gaz de Bruay, Fig. 310) démontrent qu'elles existent aussi bien dans les anthracites que dans les charbons les plus riches en matières volatiles.

Enfin, j'ai observé des cassures conchoïdales typiques dans des houilles très maigres (Vicoigne, Ostricourt) et dans des houilles très grasses (Bruay, Lens, Nœux).

En résumé, dans le Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais l'observation montre :

1° — *Que les cassures particulières affectent surtout les houilles à hautes teneurs en matières volatiles* (h. bitumineuses) *et les houilles anthraciteuses* (h. maigres, anthracites) alors qu'elles sont rares dans les combustibles intermédiaires (h. à coke).

2° — *Que ces cassures particulières sont aussi fréquentes dans le Nord du gisement là où les couches sont peu bouleversées que dans les régions de la bordure sud* disloquées par les failles et les accidents tectoniques.

## **B. — Fréquences relatives des divers types de délits schisteux.**

### **Leur répartition dans les masses de houille.**

Les différents types de cassures que j'ai décrits successivement sont loin d'être aussi fréquents les uns que les autres et peuvent se répartir en deux groupes :

a. — TYPES DE CASSURES COMMUNS ET TRÈS FRÉQUENTS.

Les types de beaucoup les plus fréquents sont les *cassures fibreuses* et *flabellées* qui font rarement complètement défaut, tout au moins dans certaines parties de n'importe quelle veine de houille. On les observe notamment dans toutes les zones de brouillages telles que les étreintes ou dans les lits glissés ou plissés où elles passent insensiblement à des surfaces de glissement avec miroirs de faille. Ce genre de manifestation de la schistosité est aussi fréquent dans les anthracites que dans les houilles flambantes, grasses à gaz ou maréchaies.

Les *Cassures conchoïdales* se manifestant par la formation de surfaces onduleuses brillantes sont aussi relativement communes et s'observent comme les précédentes dans tous les types chimiques de charbon.

b. — TYPES DE CASSURES MOINS COMMUNS ET RELATIVEMENT PEU FRÉQUENTS.

Les types de cassures autres que ceux cités précédemment sont, sinon rares, du moins beaucoup moins fréquents que les délits schisteux à aspects fibreux, flabellés ou conchoïdaux *stricto sensu*.

Les *cassures œillées*, *ocellées* et *en languettes* sont peu fréquentes et l'on peut même dire que la première est relativement rare. Elles se manifestent toujours suivant des directions selon lesquelles on observe une cassure conchoïdale.

Les *cassures conchoïdales* dans les formes typiques représentées par les Fig. 317 et 318 (Pl. LXV) ne sont guère plus fréquentes que les cassures œillées ou ocellées avec lesquelles elles sont presque toujours associées.

Quant aux *cassures en « cone in cone »* typiques elles sont aussi relativement rares, leur parenté évidente avec les cassures fibreuses et flabellées semblant, du reste, établir que ces deux types de délits schisteux représentent bien la forme fréquente de ce genre de cassures

c. — RÉPARTITION DES DIRECTIONS DE CASSURES DANS LES MASSES DE HOUILLE.

Qu'elles soient de type rare ou fréquent et quel que soit leur aspect, les cassures particulières présentent ce caractère commun *de se reproduire parallèlement à elles-mêmes* dans une masse de houille *suivant une direction donnée*.

Presque toujours, il existe dans une même masse de houille *plusieurs de ces directions privilégiées* se coupant suivant des angles de valeurs fort diverses et dont l'une coïncide parfois avec le plan de stratification de la roche combustible. La plupart de ces directions obliques sur ce plan déterminent le débitage en fragments à sections en parallélogrammes ou en trapèzes, plus rarement à sections rectangulaires. L'une de ces directions peut nettement prédominer et donner aux « gaillettes » ou même aux très gros blocs de houille une allure en biseau. C'est précisément le cas pour le bloc de houille de 1.500 kilogrammes exposé au Musée houiller de Lille et représentant toute l'épaisseur de la veine Henriette de la C<sup>1</sup><sup>e</sup> des Mines de Marles, bloc qui a fait l'objet d'une description antérieure [209].

Les *Cassures* du type fibreux (c. fibreuse, s. s., c. en « cone in cone », c. flabellées) s'observent fréquemment dans un même bloc de houille suivant les différentes directions de clivage schisteux, tandis que les cassures du type conchoïdal (c. conchoïdales s. s., c. œillées, ocellées

ou en languettes) ne se rencontrent presque toujours que suivant une seule et même direction. La présence de ces dernières peut coïncider, par contre, avec une ou plusieurs autres directions de délits schisteux à surfaces fibreuses, en « cone in cone » ou flabellées. Dans la houille de la Veine Sainte-Aline de Marles (Fig. 320) on observe notamment plusieurs surfaces à cassure en « cone in cone » et une seule direction à cassure ocellée ([199], p. 236) <sup>(1)</sup>.

### G. — Structures microscopiques normales des houilles à cassures particulières.

Cette étude est naturellement celle qui permet surtout de déterminer les véritables caractères et les causes des cassures particulières si fréquentes des charbons paléozoïques.

L'examen microscopique met en évidence ce fait essentiel *que la structure des houilles à cassures particulières est rigoureusement identique à celle des houilles du même type chimique ou pétrographique ne présentant pas de tels délits schisteux* [199]. Dans les houilles à clivages schisteux, si l'on excepte le cas de formation de vides ou de failles en rapport avec le développement de ce clivage, l'alignement des lits élémentaires (constituants macroscopiques) n'est pas modifié, l'étalement des débris organisés et leur état de conservation étant par ailleurs identiques à ce qu'ils sont dans les houilles normales.

D'autre part, cet examen démontre que, sauf des cas assez rares et ceux plus fréquents du développement de failles ou de surfaces de glissement, *les surfaces schisteuses n'ont pas d'individualité propre dans les houilles où elles se manifestent*, car elles sont invisibles dans les sections polies de houille et ne se produisent, en n'importe quel point des masses de charbons, que sous une action mécanique appropriée [199].

Beaucoup des houilles figurées par la microphotographie sur les planches de ce volume présentent des cas typiques de clivages à cassures particulières et il serait trop long de les énumérer tous ici où je me bornerai à rappeler un cas spécialement intéressant. Ce cas est celui de l'échantillon des Mines de Marles offrant un bel exemple de cassure en « cone in cone » visible sur la Fig. 320 (Pl. LXV). La structure microscopique de cette houille est figurée par les photographies 69 à 73 de la Pl. XIII où l'on peut constater que les débris organisés sont parfaitement fossilisés. Les minces cuticules onduleuses observables sur la figure 71a (Ct) ne reproduisent pas, en particulier, les sections très convexes ou très concaves des cones visibles à l'œil nu de la figure 320.

L'étude microscopique des houilles en question montre donc *que les délits schisteux générateurs des cassures particulières sont déterminés par l'arrangement des particules matérielles constitutives des houilles*, arrangement qui est totalement différent de celui des débris organisés et de la superposition des lits élémentaires.

(1) Cette association des deux grands types de cassures n'est pas particulière à nos charbons, car elle a été signalée par M. X. STAINIER dans des houilles belges [602 bis] où les ocelles sont fréquemment recoupés par une autre direction de schistosité. [Note ajoutée pendant l'impression].

## D. — Modifications des aspects macroscopiques des houilles provoquées par la présence des cassures particulières.

Alors que la présence des délits schisteux n'altère pas la structure microscopique des houilles, le développement des cassures particulières qui en dérivent est susceptible de modifier considérablement l'aspect macroscopique de ces mêmes houilles.

Ces modifications sont rendues possibles par le fait que *les cassures en question possèdent un éclat propre capable de se substituer à celui des houilles qu'elles affectent.*

Au point de vue de leur éclat les cassures particulières peuvent être rangées dans deux catégories bien distinctes :

### a. — CASSURES A ÉCLAT VIF OU TRÈS VIF.

L'on doit placer en premier lieu parmi ces cassures à éclat vif les délits schisteux du *type conchoïdal* qui présentent généralement des aspects très brillants, souvent spéculaires.

Dans le cas de l'Anthracite de Messeix (Fig. 313 à 318, Pl. LXV), qui est pourtant un combustible très brillant, l'éclat des yeux (Fig. 313 à 316) ou des surfaces conchoïdales (Fig. 317 et 318) est encore beaucoup plus vif que celui du reste de la roche. L'éclat surimposé est surtout très différent de celui appartenant en propre au charbon lorsque le clivage schisteux affecte des houilles constituées en majeure partie par des lits de charbon mat (Durain). L'éclat très vif des yeux (Fig. 310) ou des languettes (Fig. 311) contraste alors vivement avec les parties de houille non transformées dont l'aspect est resté grenu et terne.

Dans ce cas, même lorsqu'elles affectent plusieurs lits superposés, les surfaces conchoïdales présentent un éclat homogène sur toute leur étendue, éclat qui masque complètement l'hétérogénéité primordiale de la houille. Dans certains cas, elles peuvent donc empêcher de distinguer des lits de houille mate des lits de houille semi-brillante (Clarain) et même de lits de houille brillante (Vitrain).

Par un phénomène exactement inverse du précédent, le développement localisé dans une houille mate de surfaces conchoïdales en languettes peut faire croire, dans certains cas (Fig. 311), à l'existence de lits de houille brillante (Vitrain). Le fait que ces lits ne se manifestent qu'en surface et n'existent pas en profondeur, comme le montre l'examen des tranches des échantillons (Fig. 312), permet de reconnaître facilement que l'on a affaire à un simple phénomène de mimétisme.

Les cassures du *type fibreux*, le plus souvent ternes, peuvent néanmoins présenter, surtout lorsqu'elles sont glissées, des éclats assez vifs parfois même très brillants. Ce caractère brillant affecte non seulement les miroirs de faille à surfaces onduleuses auxquels passent graduellement certaines cassures fibreuses, mais encore certaines cassures en « cone in cone » typiques telles que celle de la houille de Marles (Fig. 320) où la surface vernissée des cones contraste avec l'aspect grenu et terne du charbon normal. Dans ce cas, la structure fibreuse et cannelée des cones n'a pas été effacée et le glissement s'il existe a dû être assez faible.

Les éclats vifs des cassures conchoïdales et des cassures fibreuses ne sont susceptibles d'affecter que les lits de houille proprement dits <sup>(1)</sup> à l'exclusion des lits ou lentilles de Fusain

(1) Lits de houille mate (Durain), de houille semi-brillante (Clarain) ou de houille brillante (Vitrain).

qui semblent avoir été, par nature, complètement inaptes à acquérir tout éclat d'origine secondaire. Le plus souvent, la présence des cassures fibreuses masque complètement l'allure stratifiée des houilles et ce n'est que l'existence des lames de Fusain à aspects non modifiés qui permet de reconnaître suivant ces surfaces la direction du plan de stratification de la roche combustible.

#### b. — CASSURES TERNES OU A ÉCLATS FAIBLES.

La grande majorité des *cassures du type fibreux* (C. fibreuses s. s., C. « cone in cone », C. flabellées) donne naissance presque toujours à des surfaces schisteuses ternes à éclat très faible, soyeux ou moiré.

Dans beaucoup de combustibles maigres (anthracites, h. anthraciteuses, h. maigres) l'aspect terne de ces surfaces de clivage contraste étrangement avec l'éclat presque toujours très vif des lits élémentaires où domine nettement la pâte colloïdale amorphe. Les surfaces schisteuses ternes limitent assez fréquemment de toutes parts certains échantillons que l'on pourrait être tenté de prendre à première vue pour de la houille mate. La fracture de ces blocs se produisant surtout suivant les mêmes directions, leur morcellement par le choc donne naissance à des fragments plus petits dont l'aspect terne peut compléter l'illusion. Dans l'état actuel de nos connaissances, étant donnée la rareté des houilles maigres ternes, il ne paraît pas douteux que la plupart des combustibles de ce genre, signalés antérieurement, sont des anthracites brillants à surfaces de débitage ternes.

Dans les houilles bitumineuses où dominent généralement les houilles mate (Durain) et semi-brillante (Clarain), le développement de ces surfaces fibreuses ternes ou à éclat faible peuvent non seulement effacer toute différence d'aspects entre ces deux constituants macroscopiques, mais encore rendre invisibles les lits de houille brillante (Vitrain) lorsqu'ils existent dans leur masse.

Ici encore les cassures particulières n'affectent pas les masses de Fusain et tendent à uniformiser l'aspect des lits hétérogènes.

En résumé, certaines cassures particulières (surtout celles du type conchoïdal) *peuvent conférer à des houilles mates ou semi-brillantes des éclats très vifs comparables à ceux des houilles brillantes*, tandis que d'autres (c. du type fibreux) *sont susceptibles de donner naissance à des surfaces de débitages ternes se développant aussi bien dans les houilles brillantes que dans les houilles semi-brillantes ou mates*. Toutes ont donc tendance à *uniformiser l'aspect macroscopique des houilles* et n'affectent pas la houille mate ligneuse qu'est le Fusain.

### E. — Rapports existant entre les surfaces à cassures particulières et les diaclases et les failles des houilles et leurs revêtements minéraux.

Un examen attentif des houilles permet de se rendre compte que, presque toujours, *les failles ou les diaclases des houilles* <sup>(1)</sup> *correspondent à des directions de développement des cassures particulières* qui coïncident souvent avec des surfaces de glissement.

(1) Ce terme « *diaclases* » est utilisé, ici, pour désigner tous les vides autres que ceux résultant du retrait et étudiés dans la section précédente.

Le jeu des failles et la formation des diaclases résulteraient donc des mêmes actions qui ont présidé à la genèse des cassures particulières qui représentent, en dernière analyse, *une compartimentation* des masses des veines de houille par suite du développement dans les dites masses de *clivages schisteux* répartis suivant plusieurs directions. Au cours de cette compartimentation d'une roche solide les compartiments élémentaires subissaient des déformations qui expliquent que dans une masse comprimée ont pu prendre naissance, suivant les délits schisteux, des *vides de décollement* avec ou sans déplacement des surfaces en présence.

Cette manière de voir se trouve confirmée par les faits observés qui montrent que si beaucoup de cassures particulières n'existent que virtuellement dans les houilles où elles ne prennent naissance que sous des actions mécaniques, *certaines d'entre elles*, appartenant aux différents types décrits, *représentent de véritables diaclases* suffisamment vastes pour que des minéraux aient pu venir y cristalliser tardivement.

Dans la grande majorité des cas les surfaces schisteuses ne présentent pas de tels vides de décollement et sont complètement exemptes de revêtements minéraux. Il n'en est pas moins vrai que les cassures particulières tapissées par la Pyrite ou des enduits sulfatés sont naturellement celles que l'on a remarquées plus facilement et qui avaient été surtout observées jusqu'ici par tous ceux qui ont cru devoir établir un rapport entre la structure des dites cassures et la cristallisation des minéraux de remplissage.

Tous les types de cassure peuvent avoir donné naissance à des diaclases et présenter des revêtements presque toujours partiels de sulfures, de sulfates ou de carbonates.

La houille de Bruay représentée par la Fig. 310 (Pl. LXV) montre un bel exemple de différents types de revêtements minéraux. Alors que les yeux de la face représentés par la photographie correspondent à des vides de décollement très étroits où la Pyrite n'a cristallisé que sous forme de grains très fins, à peine visibles à l'œil nu, ceux de la face opposée, identiques comme forme et comme dimensions, limitaient des vides importants qui ont permis le développement de revêtements minéraux nettement individualisés. Sur ces surfaces l'on peut observer des cristaux de Pyrite de 1 et même de 2 $\frac{1}{2}$  de côté. Dans ce cas, les formes et les dispositions des cristaux ne sont pas en rapport avec celles des ornements radiaires ou concentriques des surfaces œillées, et il est évident qu'il s'agit d'un remplissage secondaire bien plus tardif que le phénomène qui a déterminé la genèse de la cassure particulière. Le revêtement minéral est ici très discontinu puisqu'il consiste en cristaux souvent isolés les uns des autres.

Sur les cassures en languettes analogues à celles de la Fig. 311, comme sur les cassures conchoïdales proprement dites, les sulfures forment souvent des revêtements discontinus pouvant affecter l'allure de rosettes constituées par des cristaux aciculaires disposés radiairement ou de plages plus ou moins régulières. Ce sont des plages de ce genre que montrent en clair les Fig. 317 et 318.

Les surfaces fibreuses correspondent fréquemment à des vides de décollement constituant des géodes étroites où sont venus cristalliser des minéraux secondaires représentés surtout par des sulfures et par des sulfates de fer. Les cones de la Fig. 320 sont partiellement recouverts par des enduits de Pyrite moulant exactement leur surface cannelée, mais ne possédant pas de structure fibreuse propre à ce minéral. Dans ce cas, comme dans celui de la plupart des surfaces fibreuses ou flabellées, le bisulfure de fer forme des enduits pelliculaires d'appa-



rence homogène et parfois des plages arrondies en rosettes dont les fibres radiaires sont alors orientées différemment de celles des surfaces de clivage.

Détail intéressant à noter, il est d'observation presque constante que les surfaces œillées les plus belles, telles que celles des Fig. 313 à 316, ou les cassures en « cone in cone » les plus typiques correspondent à des cas où l'absence de revêtement minéral indique qu'aucune cristallisation n'a présidé à leur genèse.

En résumé, la formation des failles et des diaclases des houilles se confond avec la genèse des délits schisteux dont elles représentent une modalité de développement qui est loin d'être la plus fréquente. Les revêtements minéraux, presque toujours discontinus, n'existent que dans ces diaclases où ils ont cristallisé secondairement en moulant les surfaces préexistantes. Dans le cas de revêtements fibreux l'arrangement de ces fibres peut être totalement différent de celui des stries et cannelures de la cassure (cas des arrangements radiaires de fibres disposées en rosettes) ou avoir été imposé par ces dernières (cristaux aciculaires disposés parallèlement aux fibres). Le fait que la plupart des surfaces schisteuses les mieux individualisées ne correspondent pas à des diaclases et *sont totalement dépourvues d'enduits minéraux* infirme complètement l'hypothèse que les structures des cassures particulières des houilles auraient été déterminées par la cristallisation dans des fentes préexistantes de minéraux fibreux. Le développement de ces cassures a toujours été bien antérieur aux phénomènes de remplissage des géodes qui ont pu prendre naissance au cours de la genèse des délits schisteux.

### III

## NATURE ET ORIGINE DES CASSURES PARTICULIÈRES DES HOUILLES

La véritable nature des cassures particulières des houilles est mise en évidence par les faits d'observation exposés dans le développement précédent. Tous les caractères généraux de ces cassures, si différentes d'aspects à première vue, montrent en effet qu'elles sont les manifestations d'une *véritable schistosité* qui s'est développée dans la roche combustible suivant une ou plusieurs directions, ce dernier cas étant de beaucoup le plus fréquent.

Cette schistosité est *vraie* en ce sens qu'il ne s'agit pas d'une lamination en rapport avec la stratification, mais du développement de surfaces de grandes cohésions sensiblement normales à des directions de cohésions minima, surfaces pouvant coïncider accidentellement avec le plan de stratification, mais occupant le plus souvent une direction quelconque par rapport à ce plan.

Il est évident que les formes de cette schistosité des houilles est assez différente de celles qu'affecte ce phénomène dans les schistes proprement dits et surtout dans les schistes dits « ardoisiers » où le délit schisteux se produit suivant des surfaces donnant l'impression d'un plan. Cependant ces clivages particuliers des houilles sont quasi identiques à ceux de certains schistes où leur origine doit être attribuée à des phénomènes semblables.

## A. — Existence des cassures particulières des houilles dans certains schistes.

Si la question des causes ayant déterminé les délits schisteux des houilles peut faire l'objet d'une discussion, l'existence de ces schistosités vraies ne peut guère être mise en doute, car elle devient évidente lorsque l'on a examiné soigneusement, à ce point de vue, un nombre suffisant d'échantillons de houilles diverses ou d'anthracites. Si un dernier doute pouvait subsister à ce sujet il se trouve dissipé par d'autres faits d'observation qui montrent *que ces cassures particulières des houilles existent dans certains schistes où elles représentent des manifestations spéciales du délit schisteux de ces roches minéroènes.*

### a. — SCHISTE A CASSURE ŒILLÉE <sup>(1)</sup>.

Ce schiste représenté par la Fig. 319 (Pl. LXV) provient du toit de la 1<sup>re</sup> passée au mur de la Veine Julie de la concession de Nœux. Comme la plupart des schistes houillers il ne présente pas de schistosité vraie bien individualisée, le clivage se produisant surtout en plaquettes parallèles à la stratification et correspondant plutôt à une lamination suivant cette direction.

Dans le schiste en question on observe, néanmoins, une direction de cassure sensiblement perpendiculaire à la stratification qui peut être considérée comme résultant d'une schistosité très imparfaite. C'est suivant cette direction à surface onduleuse que s'est développée une structure œillée typique présentant des zones concentriques et des stries radiales (Fig. 319, Pl. LXV). Comme dans les houilles, les auréoles concentriques sont lisses et luisantes par suite du développement d'un éclat que ne possède pas normalement le schiste en question qui est à grain assez fin et d'aspect terne. La cassure œillée est ici à peu près normale à la stratification indiquée sur la Fig. 319 par la droite SS' qui correspond à un plan de fracture suivant lequel se trouve étalée une feuille de Cordaïte.

L'analogie entre cette cassure œillée et certains des yeux du bloc de houille représenté par la Fig. 310 est frappante, notamment en ce qui concerne les yeux schématisés par la Fig. 70<sup>t</sup>.

### b. — SCHISTE A CASSURE FIBREUSE OU CANNELÉE.

Ce schiste figuré également sur la Planche LXV (Fig. 323) appartient au Musée géologique de la Ville de Lille et a été recueilli en 1876 par JULES GOSSELET. Il est d'âge azoïque et a été catalogué comme *schiste gaufré*.

C'est un schiste vert où le clivage se manifeste presque exclusivement suivant une seule direction qui est celle des deux faces dominantes de l'échantillon dont l'une est représentée par la Fig. 323. Le délit schisteux, s'observe suivant plusieurs surfaces successives sur la photographie en question et détermine une cassure onduleuse, fibreuse et cannelée analogue à celle de la houille de l'Escarpelle de la Fig. 322. Comme dans cette dernière les fibres sont parfois disposées selon une surface convexe ou concave ébauchant l'allure d'un cône (Fig. 323, a b).

Par place les surfaces fibreuses présentent un éclat soyeux, sériciteux dû à la présence d'un mica d'origine secondaire.

(1) Ces schistes comme les suivants ont été décrits dans une note antérieure [211].

L'aspect général de ce schiste azoïque est, à la coloration près, identique à celui des cassures fibreuses ou cannelées si fréquentes dans les houilles.

c. — SCHISTE A CASSURE EN « CONE IN CONE ».

Ce schiste exposé au Musée Gosselet provient de Givonne (Ardennes). Il a été recueilli par J. GOSSELET en 1879 et attribué par lui au Revinien de DUMONT. Ainsi que le précédent, il est désigné comme *schiste gaufré*. De teinte verte, il présente par place un éclat lustré, sériciteux.

La schistosité se manifeste ici par des surfaces de fractures très onduleuses et fibreuses où l'on observe très nettement deux séries de cônes convexes et concaves s'emboîtant par leur sommet et bien visibles sur la Fig. 321 (Pl. LXV).

Dans ce cas, comme dans la houille de Marles (Fig. 320), les surfaces coniques circonscrivent non pas des cônes entiers, mais des demi-cônes; un *cône convexe* d'une face correspondant presque toujours à un *cône concave* de la face opposée. Néanmoins, l'aspect en cônes emboîtés est tellement net qu'il semble bien difficile de ne pas désigner ce genre de cassure par le terme de « cone in cone ».

Dans le schiste en question comme dans les houilles le développement des cassures en « cone in cone » détermine donc, le plus souvent, le *débitage en plaquettes onduleuses*, mais peut aboutir dans certaines circonstances à l'isolement de cônes bien individualisés.

En résumé, les cassures décrites dans les houilles *se rencontrent dans les schistes où elles représentent une manifestation particulière de la schistosité vraie*, schistosité vraie dont l'existence ne peut donc pas être niée dans les roches combustibles lorsqu'elle revêt cette forme un peu spéciale assez rare dans les schistes houillers ou autres mais très fréquente dans les charbons paléozoïques.

## B. — Causes et origines des clivages schisteux des houilles.

Si l'existence et la nature des clivages schisteux des houilles ne prêtent guère à discussion par le fait même qu'elles sont mises en évidence par des faits d'observation constants et concordants, la question de leurs *causes originelles* peut donner lieu, au contraire, à diverses controverses et ne peut guère recevoir de solution que grâce à des hypothèses qui pour être probantes doivent expliquer les structures observées et n'être en opposition avec aucun des faits d'observation que mettent en évidence les études microscopique et macroscopique des charbons.

La cause mécanique des structures en question ne peut guère être discutée en elle-même, et il est évident que la genèse du clivage schisteux des houilles s'explique de la même façon que le développement des délits schisteux des autres roches où l'on admet, aujourd'hui, *que le clivage schisteux est dû à une tension interne qui se produit chaque fois que des couches soumises à une pression ont atteint leur limite d'élasticité et ne peuvent plus céder à la dite pression* <sup>(1)</sup>.

(1) Cette théorie a été émise presque simultanément par BAUR en Allemagne (1846) et par SHARPE en Angleterre (1847) (Voir à ce sujet J. DE LAPPARENT ([382], p. 405). Elle a reçu depuis une vérification grâce aux expériences célèbres de DAUBRÉE [146].

L'étude du gisement de certaines houilles à clivages schisteux vient du reste confirmer cette manière de voir. Dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais l'on a pu maintes fois observer, notamment dans la concession d'Ostricourt <sup>(1)</sup>, que les délits schisteux deviennent plus nombreux et plus nets dans les régions des veines de houille qui précèdent ou qui suivent les zones broyées ou laminées constituées par des charbons très fragiles, souvent considérablement enrichis en cendres par suite d'une minéralisation secondaire. Dans ce cas, il est évident que les délits schisteux résultent de l'action ménagée des pressions qui ont provoqué la transformation en houille écailleuse de certaines portions des couches de charbon.

Cette cause primordiale étant bien établie, il reste à élucider un certain nombre de problèmes que j'examinerai successivement :

a. — DÉVELOPPEMENT DE PLUSIEURS DIRECTIONS DE SCHISTOSITÉ.

En règle générale, dans les *roches schisteuses types* le clivage schisteux ne se manifeste que selon *une seule direction* sensiblement normale à celle suivant laquelle s'est exercée la pression génératrice de la structure secondaire.

Au contraire, dans les *houilles*, dans la grande majorité des cas, l'on observe *deux et parfois plusieurs directions* de clivage schisteux.

Cette particularité peut s'expliquer de deux façons différentes qui semblent bien s'être produites dans des circonstances distinctes.

1° — *Développements successifs de plusieurs délits schisteux.* — Certains faits <sup>(2)</sup> indiquent que dans bien des cas les divers délits schisteux qui se recoupent mutuellement ne sont pas exactement de même âge.

Dans ces conditions, les pressions génératrices des tensions internes s'étant exercées à des moments différents, l'on comprend facilement que, étant donnés les plissements et les dérangements des veines de houille, elles ont pu s'exercer dans chaque cas successif suivant des directions occupant par rapport au plan de stratification des positions différentes. Il y a là une manière de voir d'autant plus plausible qu'il est logique d'admettre que tout délit schisteux précédent s'est manifesté au cours d'une période de plissements qui ont pu modifier l'allure générale des strates, circonstance qui rendait possible le développement de plusieurs délits schisteux d'âges différents, même en supposant que la direction des poussées tangentielles restait quasi invariable <sup>(3)</sup>.

2° — *Développement simultané de plusieurs délits schisteux.* — Dans les masses comprimées les délits schisteux ne sont susceptibles de se produire que lorsque ces masses se trouvent soumises à une charge suffisante résultant du poids des sédiments surincombants. C'est cette influence de la charge signalée par M. P. FOURMARIER [238 et 239] qui explique pourquoi dans un complexe sédimentaire donné certaines couches ont été capables d'acquiescer un clivage

(1) Cette observation a été faite par M. SOLASSE, Ingénieur à la C<sup>1</sup><sup>e</sup> des Mines d'Ostricourt, qui me l'a aimablement communiquée.

(2) Notamment ceux signalés récemment par M. X. STAINIER [602 bis]. [Note ajoutée pendant l'impression].

(3) L'on se trouve ici dans le cas très général du développement dans une même roche de deux schistosités, d'âges différents telles que celles signalées dans certains séricitoschistes des Alpes par M. AL. MICHEL LÉVY ([450] Pl. XXV).

schisteux alors que leurs voisines ne sont affectées que par le développement de diaclases plus ou moins orientées suivant une ou plusieurs directions de l'espace. Dans ces conditions, l'on comprend facilement que la charge capable de permettre le développement du délit schisteux dans une roche donnée a été, au contraire, insuffisante en ce qui concerne l'autre roche.

Le fait que le développement d'une schistosité vraie est assez rare dans les schistes houillers, alors qu'il est extrêmement fréquent dans les houilles qui leur sont associées, démontre clairement que ces dernières étaient capables d'acquérir le clivage schisteux sous des charges insuffisantes en ce qui concerne les schistes proprement dits.

Cette aptitude particulière des houilles à acquérir le délit schisteux peut expliquer, dans certains cas, le développement simultané de deux directions de schistosité respectivement normales à la force verticale résultant de la charge des sédiments surincombants et à une force tangentielle génératrice des plissements, forces réagissant simultanément l'une sur l'autre.

Dans un tel cas ces actions et réactions simultanées, s'exerçant suivant des directions qui pouvaient être quelconques par rapport au plan de stratification primitif <sup>(1)</sup>, ont pu obliger les particules matérielles des houilles à fluer suivant deux directions sensiblement normales aux composantes de ces deux forces.

La combinaison de ces deux types de phénomènes explique facilement la production des délits schisteux des houilles suivant plus de deux directions de l'espace occupant par rapport au plan de stratification du charbon des positions très diverses et variables, même dans les différentes régions d'une veine de houille donnée.

#### b. — GENÈSE DES DIVERS TYPES DE DÉLITS SCHISTEUX.

Une autre question qui se pose en ce qui concerne les délits schisteux des houilles est celle des causes qui ont déterminé la genèse des différentes variétés de cassures, en particulier des clivages du type conchoïdal et du type fibreux ou cannelé.

La cause générale ayant été la même dans les deux cas où le développement de la schistosité suivant une inclinaison uniforme peut s'expliquer par le schéma classique d'E. HAUG <sup>(2)</sup> qui s'applique aussi bien aux houilles qu'aux autres roches d'une série plissée, la cause de la formation des diverses variétés de cassures ne peut être recherchée que dans les modalités d'action des pressions génératrices.

##### 1° — Genèse des cassures conchoïdales, œillées, ocellées et en languettes.

Dans tous ces types de cassures malgré des aspects à première vue très différents les caractères structuraux sont sensiblement les mêmes et indiquent une communauté d'origine très nette.

Dans les formes les plus courantes (c. œillées et c. conchoïdales s. s.) (Fig. 310 à 319, 324 et 70<sup>b</sup>) l'aspect général est celui que présentent les figures de percussion et de compression que l'on peut faire naître sur les faces de certains minéraux au cours d'expériences trop connues pour qu'il soit nécessaire de les décrire ici. Dans les houilles et dans les schistes, comme dans

(1) Il est à peine nécessaire de rappeler ici qu'à la suite de plissements qui, comme l'a montré M. P. PREVOST [498], ont été parfois très précoces, le plan de stratification des veines de houille ou des roches stériles ne coïncidait pas toujours dans le gisement avec l'horizontale.

(2) E. HAUG. [303], t. I, p. 227, Fig. 84.

les minéraux déformés mécaniquement, les surfaces particulières offrent des stries radiales et parfois des auréoles concentriques indiquant nettement une disposition particulière des particules matérielles qui ont flué pour échapper à la compression excessive dépassant la limite de compressibilité de la substance.

Dans tous ces cas les modalités du flux de la matière indiquent nettement *l'action d'une force s'exerçant presque constamment suivant une direction rigoureusement normale au délit schisteux.*

Les cassures conchoïdales, œillées, ocellées et en languettes se seraient donc produites chaque fois que par suite des circonstances les positions respectives des masses de houilles et de la direction de la poussée tangentielle restaient sensiblement constantes pendant l'espace de temps où cette dernière exerçait son action.

La réalisation de ces circonstances exigeant la réunion de conditions bien définies devait être assez peu fréquente et explique la *rareté relative des cassures œillées ou ocellées* qui étaient celles qui se produisaient seulement dans des cas bien déterminés et assez sporadiques.

#### 2° — *Genèse des cassures fibreuses, cannelées, en « cone in cone » et flabellées.*

Les caractères morphologiques généraux de ces diverses variétés de cassures indiquent que dans leur cas les particules matérielles ont eu nettement tendance à fluer et à se disposer non plus suivant des systèmes de plans parallèles à une direction commune, comme dans le cas précédent, *mais suivant des surfaces plus ou moins compliquées onduleuses et gaufrées toutes grossièrement parallèles les unes aux autres.* L'observation montre que ce sont les dispositions plus ou moins complexes des fibres et cannelures élémentaires qui donnent naissance aux diverses variétés de clivage schisteux que j'ai réunies sous le vocable de cassures fibreuses *lato sensu.*

Ce mode d'écoulement des particules matérielles suivant plusieurs directions semble indiquer que dans ce cas les couches déformées, qu'elles aient été constituées par des houilles (Fig. 320 et 322) ou par des schistes (Fig. 321 et 323), *ont subi simultanément l'action de plusieurs forces s'exerçant suivant des directions légèrement obliques les unes sur les autres* ou dans d'autres circonstances, *l'action d'une seule force agissant successivement et à de courts espaces de temps selon plusieurs directions diversement orientées dans la masse de la houille.*

Ces dernières conditions (action d'une force unique) devaient notamment se trouver réalisées au cours des plissements des couches de houille où les déformations des veines permettaient à une force de direction constante (poussée tangentielle) de s'exercer successivement suivant des directions variant dans leur masse par rapport à celle du plan de stratification.

Les conditions requises pour le développement des délits schisteux à cassures fibreuses se trouvaient très fréquemment réunies dans le gisement en voie de plissement, caractère qui explique *la fréquence de ce type de clivage.*

En résumé, les clivages schisteux des houilles, à aspects si particuliers, n'admettraient d'autres causes que le développement des tensions internes développées dans les charbons par les poussées tangentielles qui ont déterminé les plissements des strates houillères.

## Conclusions de l'étude des clivages schisteux particuliers des houilles.

De l'ensemble des faits exposés précédemment l'on peut conclure :

1° — Que les cassures particulières des houilles sont des manifestations spéciales d'une *schistosité vraie* que l'on observe plus rarement dans les schistes houillers et autres.

2° — Que ces délits schisteux sont des structures secondaires que l'on rencontre aussi bien dans les houilles très riches en matières volatiles (h. bitumineuses) que dans les combustibles maigres (h. anthraciteuses et anthracites), *caractère qui prouve bien que les pressions génératrices n'ont pas modifié sensiblement les compositions chimiques des charbons* pas plus qu'elles n'ont altéré les états de conservation des débris organisés.

3° — Que ces délits schisteux *sont beaucoup plus fréquents dans les houilles bitumineuses* (h. de cutine) *et dans les anthracites* (h. ligno-cellulosiques riches en pâte) que dans les termes intermédiaires du groupe des houilles à coke où la présence des débris ligneux bien conservés, de dimensions relativement grandes, semblent s'être opposés mécaniquement au développement du clivage, au plissement des lits élémentaires et à la production de failles.

4° — Que le développement des délits schisteux a été intimement lié à la formation des failles et des diaclases des houilles et que c'est uniquement dans ces derniers vides de décollement qu'il est possible d'observer des remplissages et des revêtements minéraux. L'existence de surfaces schisteuses ne correspondant pas à des vides et exemptes de tout enduit minéral *exclut complètement l'hypothèse*, qui a été parfois émise, *que les structures particulières seraient dues à la cristallisation des minéraux en question.*

5° — Que les différents types de cassures particulières résultent de variations *dans les modalités d'action des pressions génératrices des tensions internes* qui ont déterminé la production du délit schisteux.

6° — Que dans les conditions où le clivage schisteux a pris naissance, étant donnée la valeur de la charge des sédiments surincombants, *les houilles étaient beaucoup plus aptes à acquérir un délit schisteux* que les schistes houillers eux-mêmes où l'existence d'une schistosité vraie est relativement rare. Cette propriété particulière des houilles est en rapport avec la *nature colloïdale* des substances constitutives de ces roches combustibles.

En résumé, l'étude des déformations mécaniques des houilles démontre que, si l'on fait abstraction de l'aptitude particulière de ces roches combustibles à acquérir une schistosité d'un genre spécial, tous les charbons obéissent à ce point de vue aux lois qui régissent les autres roches. Ceci est vrai notamment pour les divers types de houilles qui ont réagi différemment suivant leurs caractères pétrographiques exactement de la même façon que les divers termes d'une série sédimentaire se sont comportés au cours du développement des pressions génératrices des déformations mécaniques.

Une fois de plus, il est donc possible de constater que dans la série des roches sédimentaires les houilles ne forment pas un groupe à part en ce sens qu'elles suivent les lois générales applicables aux dites roches.

## CHAPITRE TREIZIÈME

### Les lits et galets de houille remaniée.

#### PLANCHE LXVI

---

##### SOMMAIRE.

- I. — LITS ET AMAS DE HOUILLE REMANIÉE. — *Houille bréchoïde de Bruay.* — Preuves du remaniement des houilles à l'état plastique et du passage des pâtes des houilles à l'état de gels colloïdaux.
- II. — GALETS DE HOUILLE ET DE COMBUSTIBLES SPÉCIAUX (CANNEL-COALS, BOGHAEDS). *Leur rareté relative dans le Nord de la France.* — Fréquence des grains de houille remaniés. — Explication de la présence de galets de houille dans les veines de charbon.

Cette question des lits et galets de houille remaniée peut paraître à première vue assez éloignée de celle de l'étude des veines de houilles normales et de leur genèse, puisqu'elle a éminemment trait à *la destruction, postérieurement à leur formation, des couches de houilles déjà individualisées*. En réalité, cette question qui fournit des indications précises sur l'état des roches combustibles, lors de leur remaniement précoce, *nous donne en même temps des renseignements précis sur l'évolution des accumulations végétales* et ne peut être complètement négligée dans les recherches qui ont pour but de décrire la structure des houilles et de définir leurs transformations diagénétiques.

C'est pour cette raison que j'étudierai rapidement dans le présent chapitre les produits de l'érosion précoce des couches de charbon et leurs modes de gisement.

## I

### LITS ET AMAS DE HOUILLE REMANIÉE

Dans les petits bassins limniques du centre de la France, où les conglomérats sont particulièrement fréquents, les lits et amas de houille remaniés ne sont pas rares et ont été signalés par FAYOL et GRAND-EURY. Dans le Bassin parisien du Nord et du Pas-de-Calais, où les conglomérats sont eux-mêmes peu fréquents, les lits et amas de houille clastiques sont, au contraire, assez rares. Néanmoins, leur existence a été signalée au cours de ces dernières années par M. L. DIDIER, Ingénieur en chef aux Mines de Bruay, grâce à la découverte par M. l'Ingé-



nieur BROUSSE de lits de ce genre dans les cuerelles surmontant la cinquième veine au puits N° 3<sup>ter</sup> de la Concession de Bruay.

Le mode de gisement de ces lits de houille détritiques et du conglomérat qui les contient ayant fait l'objet d'une étude antérieure [189], je me bornerai, ici, à donner une description de la houille bréchoïde de façon à en tirer quelques conclusions sur le mode d'évolution précoce des couches de houille.

Au point de prise la houille remaniée formait des lits réguliers (Fig. 72<sup>t</sup>), souvent très

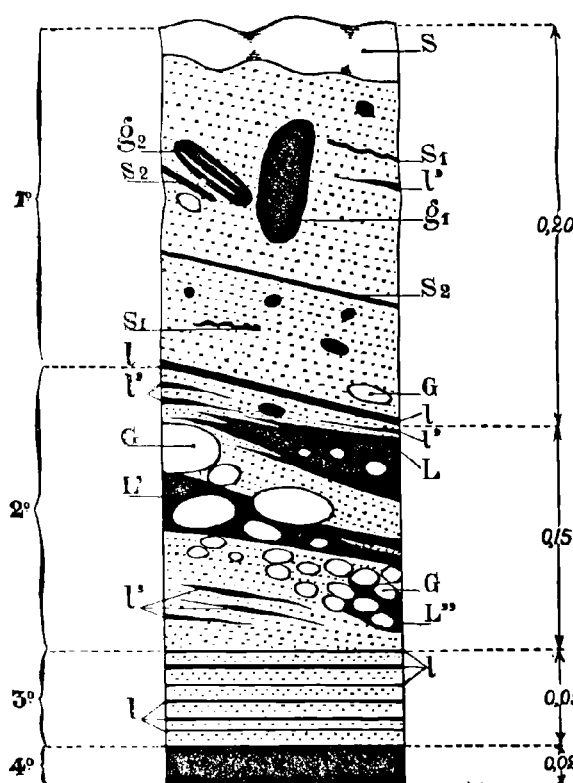


FIGURE 72<sup>t</sup>. — Figure schématique montrant la disposition des différents lits et des divers éléments du Conglomérat de Bruay

1° — Banc de grès supérieur de 0<sup>m</sup>20 contenant des galets de charbon et des débris végétaux flottés.

2° — Banc de conglomérat de 0<sup>m</sup>15 avec galets de clayat (sidérose) et lits ou amas lenticulaires de houille bréchoïde.

3° — Banc de grès inférieur de 0<sup>m</sup>05, divisé en sillons par de nombreux filets très réguliers et bien parallèles de houille bréchoïde.

4° — Lit de houille bréchoïde de 0<sup>m</sup>02.

S. — Surface mamelonnée (ripple marks?).

S<sub>1</sub>. — Ecorce de sigillaire coupée perpendiculairement à l'allongement des côtes.

S<sub>2</sub>. — Ecorce de sigillaire coupée longitudinalement. (Ces écorces S<sub>1</sub> et S<sub>2</sub> sont transformées en houille brillante [Xylovitrain]).

G. — Galets de Sidérose (Clayats).

g<sub>1</sub>. — Galet de houille mate (Durain).

g<sub>2</sub>. — Galet de Gayet (Cannel-coal).

L. — Grosse lentille formée de houille remaniée.

L'. — Lentille de houille bréchoïde contenant de gros galets de Sidérose.

L''. — Fragments de houille remaniée mélangée aux galets de sidérose.

l. — Lits minces formés de grains de houille remaniée.

l'. — Petits lits lenticulaires constitués par des grains de houille remaniée.

La stratification des lits 1° et 2° est oblique sur celle des lits 3° et 4°.

minces, mais pouvant atteindre 0 m. 02 d'épaisseur, des amas lenticulaires contenant parfois des galets de clayat (Sidérose) et de minces filets disséminés dans la pâte gréseuse du conglomérat. Ce dernier contenait, en outre, des galets de houille, de Cannel Coal, de Boghead et de clayat et des fragments d'écorces de sigillaire transformées en houille brillante (Xylovitrain) (1).

Les lits minces (l, Fig. 72<sup>t</sup>) et les petites lentilles (l') de houille remaniée sont formés par des accumulations de petits grains de houille mélangés à une certaine quantité de grains de

(1) Pour plus de détails sur les caractères de ce conglomérat houiller et sur le mode de gisement des galets de charbon et les lits et amas de houille bréchoïde consulter les notes [189] et [190].

sable, circonstance qui explique leur forte teneur en cendres (34,93 %). Les grains de houille présentent, aux dimensions près, l'aspect des galets des lits plus épais que je décrirai dans un instant.

Les amas de houille plus épais (L, L') ont une allure lenticulaire nette et se terminent en pointes souvent digitées comme le montre la Fig. 72<sup>t</sup>. La présence de galets de Clayat, à peine roulés et usés, leur donne fréquemment une allure glandulaire. La houille remaniée existe encore en amas irréguliers (L'') formant la pâte de certaines accumulations de galets de sidérose et à l'état de grains ou granules microscopiques disséminés dans la pâte gréseuse du conglomérat.

Les différentes figures de la Planche LXVI représentent la houille bréchoïde de l'un des gros amas de charbon remanié.

La Fig. 325, qui est une macrophotographie à faible grossissement ( $\times 2,5$ ), permet de se rendre compte de l'aspect de la houille bréchoïde qui est constituée par une agglomération, sans interposition d'un ciment, de galets de houille <sup>(1)</sup> de formes et de dimensions très différentes auxquels se trouvent associés quelques galets de Cannel-Coals ou de Bogheads (Gayets), facilement reconnaissables grâce à leur teinte grise uniforme et foncée. Même à ce grossissement faible l'on peut observer les contours irréguliers de certains galets, leurs déformations mutuelles résultant de leur mode d'association parfois très compliqué et les différences d'orientation des plans de stratification des divers blocs de houille qui se trouvent actuellement en contact. Certains galets de cet échantillon poli mesurent plus de 0 m. 02 de longueur sur 0 m. 01 de largeur et offrent un aplatissement parallèle au plan de stratification de la houille qui les constitue. La plupart des galets sont de plus petite taille, tous ont des contours anguleux à arêtes à peine émoussées et arrondies. Certains d'entre eux présentent des phénomènes de retrait tardif très nets.

La Fig. 326 montre à un grossissement plus fort ( $\times 6$  environ) le détail de la région supérieure gauche de l'échantillon représenté en entier par la Fig. 325. L'on peut remarquer à la partie supérieure de cette macrophotographie un galet de houille brillante (Vitrain)  $g$  affectant la forme d'une lame se terminant en pointe vers la droite, mais offrant vers la gauche une extrémité digitée dont les lames plus minces sont elles-mêmes déformées ; caractère qui implique que cette houille amorphe a été remaniée alors qu'elle était encore plastique. Le galet  $g_1$  est constitué partie par de la houille brillante amorphe et partie par de la houille semi-brillante (Clairain), tandis que les galets  $g_2$  et  $g_3$ , de tailles très différentes, sont respectivement formés de houille semi-brillante et de houille mate (Durain). En  $G$  l'on observe un amas de petits galets de houille bien arrondis, tandis qu'en  $G_1$  une accumulation analogue est constituée par des fragments de même taille, mais à peine roulés.

La Fig. 327 représente à un grossissement de 6 environ l'aspect de la partie centrale de l'échantillon de la Fig. 325, où la structure bréchoïde est la plus nette. Cette figure montre bien les contours très irréguliers de certains galets et leurs déformations mutuelles. On y observe également l'absence de tout ciment et la présence de vides importants dont certains résultent en

(1) Des études macroscopiques de galets de houille ont été publiées par différents auteurs. Elles ont été résumées dans un mémoire antérieur ([189], p. 319 et 321), elles s'appliquent uniquement à des galets isolés dans les roches stériles et les principales d'entre elles seront rappelées dans le développement suivant consacré aux galets de ce genre.

partie de la chute de un ou plusieurs galets au cours du polissage. Le galet  $g_1$  se trouve nettement comprimé et déformé entre deux des galets placés respectivement au dessus et au dessous de lui, tandis qu'en l une lame de houille courbée montre une déformation nette de l'alignement primitif des lits de microspores.

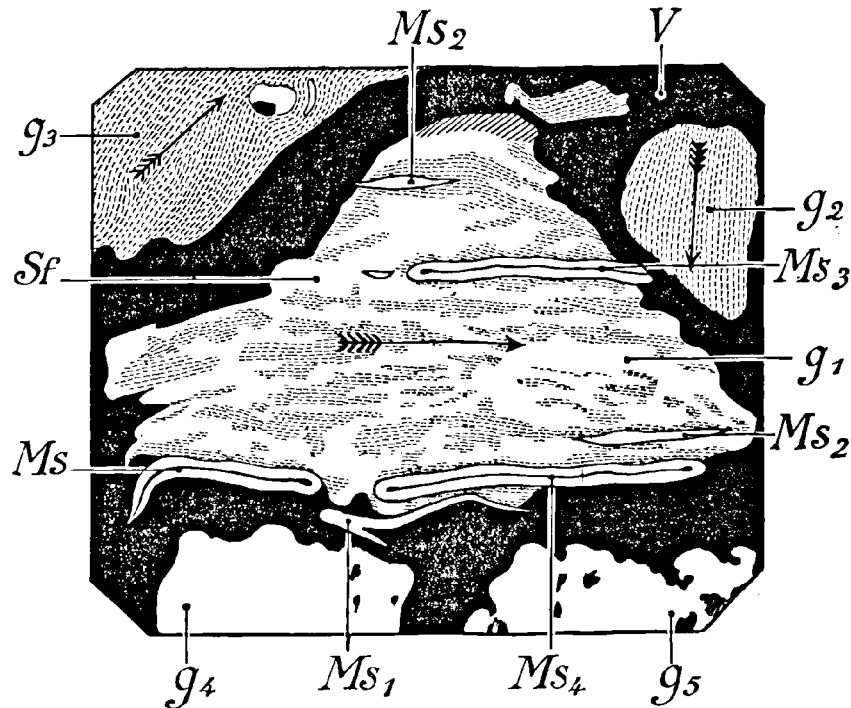


FIGURE 73<sup>t</sup>. — Figure schématique représentant les détails de structure du galet de houille  $g_1$ , de la Fig. 328 (P. LXVI). Ce schéma a été exécuté d'après une microphotographie publiée antérieurement ([189], Pl. XIII, Fig. 2), qui présente une orientation inverse de celle de ce même fragment sur la macrophotographie de la Fig. 328.

$g_1$  — Fragment de houille à contours irréguliers coupé perpendiculairement à son plan de stratification indiqué par la flèche.

$g_2, g_3$ . — Fragments analogues au précédent.

$g_4, g_5$ . — galets coupés parallèlement aux strates (sections passant par des lits de houille amorphe ou Vitrain).

$Ms$ . — Exine de macrospore partiellement dégagée et à extrémité coudee à angle droit.

$Ms_1$ . — Macrospore dont l'une des parois a été enlevée.

$Ms_2, Ms_3$ . — Fragments de macrospores.

$Ms_4$ . — Macrospore entière.

$V$ . — Vide existant entre les galets voisins.

Les pointillés représentent les microspores, Les flèches indiquent dans les sections verticales la direction du plan de stratification.

La Fig. 328 exécutée à un grossissement légèrement supérieur ( $\times 9$  environ) montre encore mieux l'allure brechique de ce conglomérat. L'on peut y observer à côté de galets lamellaires de houille brillante ou Vitrain ( $g$ ) des galets de houille mate dont certains contiennent des débris organisés bien déterminables même à ce grossissement assez faible. Le galet  $g_1$ , en particulier, dont la structure a été schématisée par la Fig 73<sup>t</sup> contient trois macrospores bien déterminables,

dont certaines sont partiellement dégagées de sa masse, et de nombreuses microspores bien alignées et visibles à l'œil nu sur la Fig. 328. Sur cette dernière figure le plan de stratification de la houille de ce galet est sensiblement perpendiculaire à la ligne horizontale qui coïncide avec le plan de stratification propre au lit de houille remaniée.

La Fig. 329 représente bien la structure bréchoïde de la roche remaniée et montre, en particulier, la superposition d'un galet de houille  $g_1$  d'un galet de cannel-coal (Gayet)  $g_2$  et d'un deuxième galet de houille  $g_3$ . Le galet de Cannel-Coal  $g_2$  a une section très irrégulière en forme de clou à large tête dont la tige, légèrement tordue, a sa pointe dirigée vers la droite. Cette section contient, en outre, quelques galets bien arrondis  $g_4$  et des vides assez importants V.

Les Fig. 330a et b montrent à un grossissement de 9 diamètres environ la structure des galets de houilles qui occupent la partie inférieure de la Fig. 325, galets qu'il est intéressant d'étudier en détail en raison de leurs déformations mutuelles. Le galet  $g_1$  (Fig. 330a) a déformé le galet  $g_2$  en provoquant le rebroussement d'une lame se terminant en pointe et indiquée par la lettre l sur la Figure schématique 74<sup>t</sup> dont les hachures indiquent les modifications apportées dans l'ali-

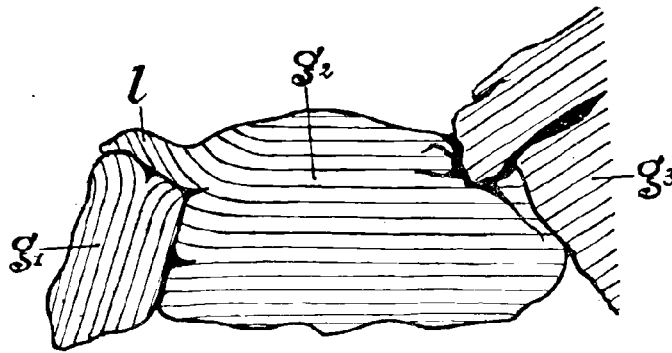


FIGURE 74<sup>t</sup>. — Schéma montrant les déformations mutuelles des galets de houille des Fig. 330a et 330b.

$g_1$ . — galet dont la partie supérieure légèrement comprimée présente une disposition en éventail des directions d'alignement des microspores.

$g_2$ . — galet dont une lame l a été détachée et déformée par le galet  $g_1$ .

$g_3$ . — galet dont une lame a fortement déprimé le galet  $g_2$ .

Les hachures droites indiquent la stratification, les hachures courbes les déformations des alignements primitifs.

gnement des débris organisés. Dans le galet  $g_1$  lui-même une déformation s'est développée par suite d'une réaction et consiste dans une disposition en éventail des alignements des microspores, disposition schématisée par les hachures de la Fig. 74<sup>t</sup>. Une lame L du galet  $g_3$  qui occupe presque tout le champ de la figure 330b a pénétré assez profondément dans la masse du galet  $g_2$  comme l'indique le schéma 74<sup>t</sup>.

La Fig. 330a permet, en outre, d'observer à côté de galets de houille mate (Durain) ( $g''$ ,  $g_1$ ) des galets de houille brillante (Vitrain) ( $g$ ,  $g'$ ) dont l'un  $g$  montre une structure particulière qui explique pourquoi les galets de houille semi-brillante (Clarain) et surtout de houille mate sont beaucoup plus nombreux que ceux de houille brillante. Le galet  $g$  montre nettement que le morcellement primitif des lits de houille brillante facilitait leur émiettement et même leur destruction rapide.

La plupart des observations citées précédemment permettent déjà de conclure que les galets de houille du charbon bréchoïde de Bruay ont été remaniés à l'état plastique, fait qui est encore mieux mis en évidence par les structures suivantes que l'on peut nettement observer au microscope.

Un examen microscopique du galet  $g_1$  de la Fig. 328, dont l'aspect général est schématisé

par la Fig. 73<sup>t</sup>, permet de reconnaître à la base de ce galet, supposée ramenée comme son plan de stratification sur une ligne horizontale, deux exines de macrospores ( $M_s$  et  $M_{s_1}$ ) qui se trouvent presque complètement dégagées de la masse de la roche combustible. Or, l'extrémité de gauche de la macrospore  $M_s$  (Fig. 73<sup>t</sup>) est ployée en angle droit, déformation qui suppose qu'au moment du remaniement et de l'usure par les eaux du galet  $g_1$  l'exine de cette macrospore était

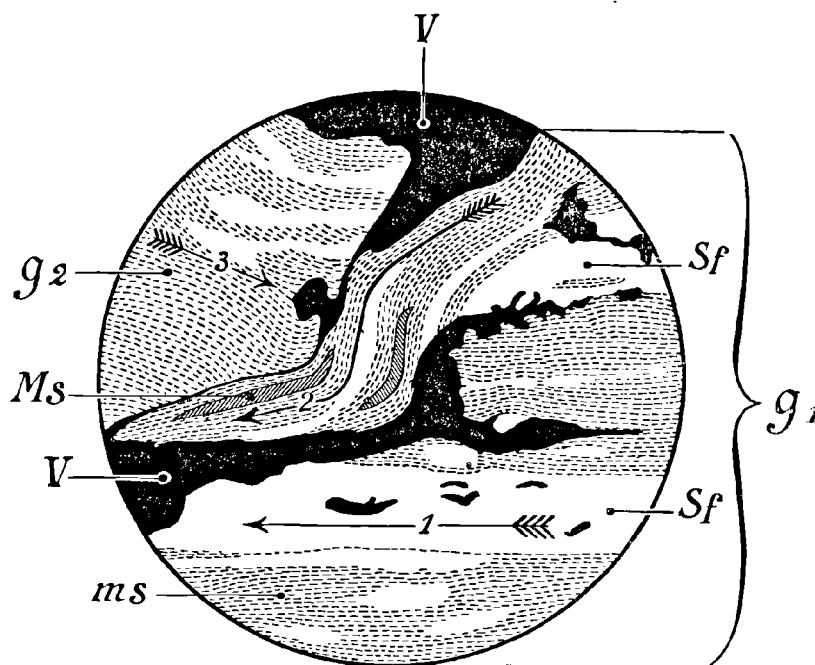


FIGURE 75<sup>t</sup>. — Schéma représentant les déformations de certains galets de houille du charbon bréchoïde de la Fig. 325 (Pl. LXVI).

Une lame de houille 2 dépendant du galet  $g_1$  a été déformée et ployée en S au contact du galet  $g_2$ . Les exines de macrospores  $M_s$  que contient cette lame de houille ont été également déformées. Le dérangement de l'alignement primitif est indiqué par la flèche 2.

*ms.* — microspores figurées par des pointillés. | *Sf.* — Pâte ou substance fondamentale.  
*V.* — Vides séparant les galets voisins.

Les flèches 1 et 3 indiquent la stratification dans les galets  $g_1$  et  $g_2$ .  
 (D'après une microphotographie publiée antérieurement [189], Pl. XIII, Fig. 1).

encore molle et noyée dans une masse plastique capable de permettre les dégagements partiels d'exines de spores telles que  $M_s$ ,  $M_{s_1}$  et  $M_{s_2}$ .

La Figure schématique 75<sup>t</sup> exécutée d'après une microphotographie que j'ai publiée antérieurement ([189], Pl. XIII, Fig. 1) montre des faits conduisant aux mêmes conclusions. Une lame de houille dépendant de la partie supérieure du galet  $g_1$  a été ployée en S comme l'indique la flèche courbe 2 par suite de l'action déformante du galet  $g_2$ , la déformation est ici nettement indiquée par le dérangement en masse de l'alignement des microspores et la déformation des lambeaux d'exines de macrospores qui s'y trouvent interstratifiés; tous caractères qui

montrent que la pâte de la lame de houille en question était encore plastique lorsqu'elle a subi l'action déformante du galet  $g_2$  et que les exines de spores n'étaient pas complètement durcies.

L'agglutination, sans interposition de ciment, des blocs de houille du charbon bréchoïde est un autre fait d'observation qui milite en faveur de la réalité du remaniement à l'état plastique de la roche combustible qui a fourni les éléments constitutifs de ce sédiment détritique.

D'autre part, une étude comparative m'a permis de montrer [189] que le charbon remanié des lits et amas de houille bréchoïde est analogue aussi bien au point de vue pétrographique qu'au point de vue chimique au charbon des veines sous-jacentes et, en particulier, à celui de la cinquième veine dont certaines parties émergées ont pu fournir les matériaux nécessaires à la formation des galets de roches combustibles.

De tout ce qui précède l'on peut donc conclure que la houille bréchoïde de Bruay est constituée par des fragments de charbon provenant du remaniement très précoce de couches de houilles incomplètement durcies et que ses éléments ont été empruntés, selon toute vraisemblance, à des affleurements assez voisins <sup>(1)</sup> de la zone de dépôt où s'accumulait le conglomérat qui la contient.

En ce qui concerne le mode de formation des couches de charbon ces faits montrent, en outre, qu'au début de leur diagenèse *les couches de houille ont passé par un état plastique* qu'elles ont conservé pendant un certain temps et qui n'excluaient pas, néanmoins, une certaine ténacité puisqu'elles ont pu être remaniées à cet état où leur structure physique ne différait pas sensiblement de celle qu'elles présentent aujourd'hui.

*En dernière analyse, ces observations viennent confirmer ce qui a été dit antérieurement par M. CH. BARROIS [15 et 22] sur les galets de houilles des roches stériles et militent en faveur de l'idée de la formation par précipitation chimique, à l'état de gel colloïdal, des ciments (pâtes ou substances fondamentales) des houilles.*

## II

### GALETS ET GRAINS DE HOUILLE REMANIÉS

En plus des galets du charbon bréchoïde de Bruay je n'ai étudié que quelques galets de houille et de combustibles spéciaux provenant du même conglomérat. Les galets de houille sont identiques à ceux des lits de houille remaniée. Quant aux galets de combustible spéciaux j'ai pu montrer [190] qu'ils appartiennent, soit au Cannel-Coals (Gayets), soit au Bogheads (Charbons d'algues), roches dont j'avais rappelé antérieurement la présence [181] dans notre Bassin houiller.

Dans le Bassin paraliqne du Nord de la France la présence de *galets de charbon* dans les roches stériles est un fait relativement rare, mais néanmoins observable. La présence de galets de houille, de Cannel-Coal et de Gayet a été signalée par M. CHARLES BARROIS dans le poudingue de la Veine Édouard de Lens [22] où ils représentent 2,96 % environ des galets de ce conglomérat. M. M. CH. BARROIS [15] et PAUL BERTRAND [85] ont en outre décrit des galets de Cannel-Coals provenant des cuerelles séparant les Veines 16 et 17 au siège n° 1 des Mines de Bruay.

(1) Le remaniement à l'état mou sans destruction totale des fragments de charbon exclut en effet l'idée d'un transport à longue distance.

Plus récemment M. L. DIDIER, Ingénieur en Chef aux Mines de Bruay a fait don au Musée houiller de Lille de beaux échantillons de houille remaniée et de galets recueillis par M. l'Ingénieur BROUSSE dans les cuerelles surmontant la cinquième veine au siège n° 3<sup>ter</sup>.

Les galets de roches combustibles sont beaucoup plus fréquents dans les bassins limniques du centre de la France où leur présence en plus grande abondance s'explique par les caractères plus grossiers des sédiments stériles qui les contiennent et où ils ont été décrits par H. FAYOL [225] et B. RENAULT [521]. Cette fréquence relative a permis à ces auteurs d'établir les caractères généraux de leur gisement que je résumerai surtout d'après leurs travaux, les faits observés dans le Nord de la France étant trop peu nombreux à eux seuls pour permettre de dégager des lois qu'ils viennent, par contre, confirmer de façon très nette.

De l'ensemble des observations de nombreux auteurs <sup>(1)</sup> qui ont étudié des galets de charbons provenant de gisements différents on peut tirer les conclusions suivantes :

1° Les galets de charbon ne se rencontrent guère que dans les sédiments très grossiers et sont surtout fréquents dans les poudingues et les conglomérats. Dans le Nord de la France on les rencontre principalement dans les grès à gros grains (cuerelles) formant les toits de certaines veines.

2° Les galets de charbon associés dans un même banc de grès appartiennent toujours à une même espèce de roche combustible et contiennent des teneurs semblables en matières volatiles.

3° Les galets de charbon d'un même banc de grès appartiennent toujours par leur composition chimique au faisceau des veines immédiatement voisines et aux veines les plus proches. FAYOL ([225], p. 141 et 142) a pu en effet montrer que ces galets sont anthraciteux près des couches d'anthracites, maigres dans les faisceaux de veines maigres, gras flamboyants dans le voisinage des veines de charbon gras.

4° Le nombre des galets de Cannel-Coals (Gayets) est relativement plus grand que celui des galets de houille, fait d'autant plus remarquable que les couches de ces combustibles spéciaux sont beaucoup moins nombreuses et moins puissantes que les veines de houille.

5° D'après les observations concordantes de M. CH. BARROIS [15], de FAYOL [225] et de RENAULT [521] les galets de charbon ont subi, postérieurement à leur enfouissement, une diminution de volume <sup>(2)</sup> qui permet de conclure que la roche combustible était encore plastique lorsqu'elle a été remaniée par les eaux.

Tous les faits d'observation que j'ai pu mettre en évidence grâce à l'étude microscopique des lits et amas de houille remaniée de la concession de Bruay viennent confirmer ces conclusions puisqu'ils démontrent l'origine voisine de la houille des galets de charbon, leur remaniement à l'état plastique, les analogies de composition chimique entre ces galets et les houilles des veines voisines et enfin leur gisement dans des grès grossiers passant à un conglomérat.

(1) Consulter, en outre, des Mémoires déjà cités H. DE LA BÈCHE [35], L. DESAILLY [160], CH. FRAIPONT [245], W. LOCAN [420], M. LOHEST [422], X. STAINIER [591]. Voir également :

J. CORNET. — Sur l'existence de bancs de poudingue dans la partie supérieure du terrain houiller. *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, t. XXVII, Bulletin, p. CXXV à CXXXI, Liège, 1900.

AD. FIRKET. — *Ann. Soc. Géol. de Belgique*, t. XXI, p. LXVIII, Liège, 1896.

(2) Cette diminution de volume est celle que j'ai décrite plus haut comme étant génératrice des vides de retrait et correspond à une contraction de la roche combustible en voie de durcissement.

La fréquence relative des galets de Cannel-Coal (Gayet) signalée par M. CH. BARROIS s'explique de la même façon que celle des galets de Boghead <sup>(1)</sup> et de houille de cutine, ces trois types de combustibles étant beaucoup plus compacts et plus cohérents que les houilles ligno-cellulosiques.

Enfin, un examen attentif de nombreux grès houillers du Nord de la France permet de se rendre compte que si les galets de houille sont relativement rares dans notre bassin houiller, les roches combustibles existent presque toujours à l'état remanié dans ces sédiments grossiers sous forme de *grains* et de *granules* très divisés et disséminés entre les nombreux grains de quartz. Beaucoup de ces grains sont visibles à l'œil nu ou à la loupe, les granules sont quasi microscopiques et ne peuvent être observés qu'à la loupe binoculaire ou au microscope biobjectif. C'est à la présence de ces fines particules de houille clastiques que certains grès houillers doivent leur teinte grise assez foncée.

Malgré la rareté relative des galets de houille dans les grès houillers, l'on peut donc conclure que dans le Bassin houiller du Nord de la France le remaniement de certaines parties des couches de houille, à peine formées, était un phénomène extrêmement fréquent.

Au cours de mes recherches sur les houilles du Nord de la France et d'autres gisements je n'ai jamais observé la présence, *dans la masse même des veines de charbon*, de galets de roches combustibles analogues à ceux qui ont été maintes fois signalés <sup>(2)</sup> dans des couches d'âges très différents (*Kugelkohlen* des auteurs allemands).

Les aspects de ces galets tels qu'ils sont représentés par M. R. POTONIÉ offrent des analogies frappantes avec ceux des blocs de houille des lits de charbon bréchoïde de Bruay, que j'ai décrits précédemment, et les galets de houille des stériles. Il semble difficile de ne pas leur attribuer des origines analogues (remaniement par les eaux de couches de houille récemment formées). Dans l'hypothèse de la formation des veines de charbon par transport de menus débris végétaux, la présence de tels galets de houille remaniée dans la masse des dites veines n'a rien qui doive nous étonner et s'explique aussi simplement que l'apport des fragments de plantes fossilisés, la légèreté des dits galets ayant permis leur transport dans des eaux relativement calmes (flottage).

### Conclusions de l'étude des houilles remaniées.

Cette étude nous a montré que les couches de houille ont été partiellement remaniées tout au début de leur diagenèse, circonstance qui implique *que leur individualisation en tant que couches distinctes et consistantes était très précoce*.

Cette étude montre, en outre, qu'au début de leur diagenèse *ces couches de houille ont passé par un état plastique* qui n'exclut pas une certaine résistance à l'écrasement et aux agents mécaniques de transport. La réalité de cet état plastique intermédiaire, qui avait été admis antérieurement par M. CH. BARROIS [15 et 22], vient confirmer ce qui a été dit sur l'origine et le mode de formation des ciments ou pâtes des houilles qui se sont bien individualisées à l'état de gels colloïdaux par voie de précipitation chimique.

(1) La présence de galets de Bogheads est un fait d'autant plus remarquable que cette roche combustible est encore plus rare que les Cannel-Coals dans notre Bassin houiller.

(2) Voir à ce sujet : R. POTONIÉ. — [487], p. 66 à 71, Fig. 19 à 21.



## Conclusions de l'étude des structures secondaires des houilles.

De ce qui précède on peut tirer les conclusions générales suivantes qui ont un certain intérêt au point de vue de l'étude du mode de formation et d'évolution des couches de houille.

1° Les cassures particulières des houilles qui représentent *une véritable schistosité* déterminent souvent des aspects qui leur sont propres, capables de masquer plus ou moins complètement la structure stratifiée des charbons qu'elles affectent. Leur éclat, notamment, peut être tout différent de celui de la roche combustible. Certaines cassures fibreuses donnent ainsi une apparence terne aux houilles brillantes (Vitrain), tandis que les clivages schisteux du type conchoïdal confèrent à certaines houilles mates (Durain) un éclat assez vif.

En règle générale, ces cassures *peuvent fréquemment faire croire à une structure homogène des houilles qui peut n'être qu'apparente.*

2° La fréquence des cassures particulières dans les houilles riches en menus débris végétaux (h. de spores et de cuticules) et dans les charbons dont la structure tend vers une certaine homogénéité (h. ligno-cellulosiques riches en pâte), d'une part, la rareté relative de ces mêmes cassures dans les charbons à texture plus hétérogène (h. ligno-cellulosiques à nombreux fragments de tissus ligneux), d'autre part, *sont des faits qui viennent confirmer l'idée de l'importance du rôle joué par la différenciation des dépôts initiaux* dans la formation des divers types de houille.

La localisation dans ces mêmes houilles des plissements et des fractures, qui s'explique par les mêmes raisons d'ordre mécanique que celle des délits schisteux, vient encore confirmer cette notion primordiale dans l'étude de la genèse des combustibles paléozoïques.

3° Dans tous les cas étudiés les actions mécaniques génératrices des structures secondaires (Pressions, Remaniement par les eaux) *n'ont pas provoqué de modifications importantes des structures physiques des houilles* en ce sens que les débris organisés des houilles plissées, faillées ou schisteuses, d'une part, et ceux des galets de houille, d'autre part, présentent des états de fossilisation en tous points comparables à ceux des spores, des cuticules, des corps résineux ou des tissus ligneux des houilles normales.

Seules des déformations des lits ou de certains débris végétaux peuvent être observées.

4° Ces mêmes actions *n'ont pas affecté sensiblement les compositions chimiques des houilles qui les ont subies*, car ces compositions restent toujours en rapport avec les caractères pétrographiques de chacune d'elles. Dans le cas des houilles, qui sont des roches organiques particulièrement sensibles par nature aux agents de transformation, ces faits prouvent que conformément aux idées des pétrographes français et selon une expression de P. TERMIER rappelée récemment par M. E. RAGUIN [502] *le dynamométamorphisme déforme, mais ne transforme pas.*

5° Enfin, l'étude microscopique des galets de houilles met nettement en évidence que certaines d'entre elles ont été remaniées *à l'état plastique*, fait qui vient confirmer les observations macroscopiques faites par les divers auteurs que j'ai cités dans le développement précédent et montre clairement *que la pâte amorphe de ces roches combustibles a bien passé par le stade d'un gel colloïdal* ainsi que j'ai été amené à l'admettre comme conséquence des résultats d'ensemble de mes recherches microscopiques sur la structure des charbons paléozoïques.

## APPENDICE

## Les fausses structures des houilles

Les examens microscopiques des houilles dont je viens d'exposer les résultats m'ont amené à préciser le rôle des tissus ligneux dans la formation des charbons et à montrer que ce rôle est beaucoup moins important qu'on ne l'admettait jusqu'ici <sup>(1)</sup>. En effet, ces tissus ne se rencontrent dans les houilles qu'à l'état de *Fusain* ou de masses lenticulaires plus ou moins gélifiées (*Xylain*, *Xylovitrain*) en quantité parfois très réduites (houilles de cutine et houilles cellulosiques) <sup>(2)</sup> et sont toujours associés à des substances originellement amorphes dans les charbons où elles existent en quantités relativement grandes (houilles ligneuses).

Ces mêmes études m'ont conduit à admettre que les lits de *houille brillante* communément désignées dans les nomenclatures modernes par les termes « *Vitrain* » et « *Anthraxylon* » ont une structure amorphe originelle et résultent de la précipitation chimique de substances végétales en solution ou pseudo solution, grâce au jeu du même mécanisme qui a déterminé la formation des ciments ou pâtes des lits hétérogènes de houille semi-brillante (Clarain, Attritus) ou de houille mate (Durain) <sup>(3)</sup>.

Cette opinion se trouve être en contradiction avec les idées émises par certains chercheurs qui ont admis, au contraire, que les lits de houille brillante en question représentent des lames ligneuses gélifiées. Cette manière de voir qui était déjà celle adoptée il y a cinquante ans environ par GRAND-EURY [278] et FAYOL [225] s'appuie aujourd'hui en partie sur des faits d'observation exacts (origine ligneuse des masses que j'ai désignées moi-même sous les noms de *Xylain* et de *Xylovitrain*) <sup>(4)</sup>, mais repose surtout sur la détermination, en tant que structures ligneuses, de pseudo-structures résultant de la compartimentation mécanique de masses réellement amorphes ou de certains accidents de polissage.

Ce sont ces *fausses structures ligneuses* et les faits invoqués à tort en faveur de l'origine ligneuse des lits de houille brillante que je décrirai dans le présent appendice.

## 1°. — Pseudo-Structures ligneuses dues à des actions mécaniques.

Ces pseudo-structures sont presque toujours dues à l'action de la chaleur, action qui peut résulter d'une exposition dans une flamme très chaude (Méthode de TURNER et RANDALL) <sup>(5)</sup> ou dans certains réactifs (méthode de THIESSEN) <sup>(5)</sup>. Elles s'observent aussi bien en surfaces polies qu'en lames minces et présentent dans les deux cas des aspects semblables.

(1). J'ai déjà insisté sur ce fait dans une note antérieure [183] parue en 1926.

(2). Pour la définition de ces termes et de celui de houilles ligneuses voir plus loin Chapitre XVII<sup>e</sup>.

(3). Voir Chapitre VIII<sup>e</sup>, p. 147.

(4). Voir à ce sujet : Chapitre VII<sup>e</sup>, p. 138 à 141.

(5). Consulter à ce sujet le Chapitre III<sup>e</sup> p. 26 et 31.

Dans l'un de ses premiers mémoires [639], M. R. THIESSEN a publié une microphotographie <sup>(1)</sup> représentant, selon lui, *des structures ligneuses plus ou moins bien conservées dans la houille brillante ou anthraxylon.*

Cette interprétation du distingué chimiste américain peut être discutée à différents points de vue que j'examinerai successivement :

*Au point de vue botanique et paléontologique* la nature ligneuse de la structure en question peut être contestée, car si l'alignement des soi-disant cellules polygonales à sections aplaties selon une seule direction et à parois très minces rappelle d'assez près celles des cellules du liège ou suber, il est très différent de l'aspect que présentent en sections minces le bois ou le sclérenchyme des plantes actuelles et dans les lames minces de houille ou de Coal-balls à structures conservées les tissus ligneux des plantes houillères.

*Au point de vue technique*, il est très facile de se rendre compte que l'on a affaire à une *pseudo-structure*, car dans les lames minces de houille, comme l'a montré récemment M. C. A. SEYLER [566] <sup>(2)</sup>, *les membranes cellulaires des tissus ligneux sont noires et opaques* comme l'avaient déjà montré les beaux travaux de B. RENAULT <sup>(3)</sup>. Or, la structure figurée par M. THIESSEN apparaît en lame mince sous forme d'un *réticulum clair* dont les contours polygonaux très fins rappellent la disposition des fentes de retrait que l'on peut faire naître expérimentalement dans une masse de houille quelconque en la soumettant à des alternatives d'échauffements et de refroidissements ou d'imbibitions et de dessèchements.

La pseudo-structure ligneuse figurée par M. THIESSEN représente, à mon avis, *une structure secondaire* provoquée, soit au cours du ramollissement des blocs de houille sous l'action de réactifs plus ou moins chauds, soit au cours du collage du charbon sur la lame de verre porte objet <sup>(4)</sup>.

Plus récemment, M. M. TURNER ET RANDALL [657] ont publié deux microphotographies de surfaces polies et attaquées <sup>(5)</sup> représentant, selon eux, des structures ligneuses mises en évidence dans la houille d'apparence amorphe, <sup>(6)</sup> grâce à l'action de la flamme du chalumeau.

*Au point de vue botanique et paléontologique* les structures figurées donnent lieu aux mêmes remarques que celles dont je viens de parler, les aspects représentés étant très différents de ceux des tissus ligneux fossiles ou actuels. Ici encore les dispositions des pseudo-cellules rappellent assez bien celles des cellules du liège (suber), mais sont très éloignées de celles du bois ou du sclé-

(1). Voir : [639], Figure 3. — La légende de cette figure est la suivante : « A part of a thin cross section of « bright coal » or anthraxylon, showing more or less well preserved structure of wood ».

(2). Sur les planches de ce mémoire figurent simultanément des microphotographies *en lames minces et en surfaces polies* de tissus ligneux de même provenance, microphotographies *qui montrent que les membranes cellulaires des tissus ligneux noires et opaques en lames minces sont, au contraire, claires et brillantes en surfaces polies.* (Comparer notamment les Fig. 14 [Pl. III] et 18 [Pl. IV] du mémoire cité [566] qui représentent respectivement en *surface polie* et en *lame mince* un même fragment d'écorce ligneuse.

(3). Consulter notamment les mémoires cités dans la liste bibliographique et particulièrement l'ouvrage qui y figure sous le n° [527].

(4). Des accidents de ce genre, fréquents au cours de la confection de lames minces de houille, ont été signalés par M. LUCIEN CAYEUX [131], p. 92.

(5). Il s'agit des figures 5 (p. 311) et 6 (p. 312) du mémoire cité [657].

(6). La légende de la Fig. 5 indique notamment : « This section is of a particular interest because it is in the brilliant jetty coal and not in the duller layers where such forms are usually found.

renchyme. La faible épaisseur des parois cellulaires sur laquelle insistent les auteurs cités ([657], p. 312, Fig. 6) conduit également à rapprocher les structures en question du liège et non des tissus ligneux.

Au point de vue technique, il est également aisé de montrer que les soi-disant structures ligneuses mises en évidence par l'attaque dans les houilles brillantes en question *sont des pseudo-structures*, car les membranes cellulaires supposées apparaissent sous forme d'un réseau noir, alors qu'en surfaces polies elles devraient présenter, si elles étaient vraies, l'aspect d'un réseau clair et brillant <sup>(1)</sup>.

Les pseudo-structures ligneuses dont il vient d'être question *sont des structures secondaires* provoquées par certaines manipulations, au cours de la préparation des sections minces, des lames minces ou des surfaces polies et attaquées de houille, manipulations sur les dangers desquelles j'ai insisté précédemment (Chapitre III<sup>e</sup>).

## 2<sup>o</sup>. — Pseudo-structures ligneuses dues à des accidents de polissage.

Certaines pseudo-structures ligneuses attribuées à des houilles brillantes amorphes *sont des structures secondairement acquises* au cours des opérations de polissage à la suite d'accidents que j'ai signalés plus haut (Chapitre IV<sup>e</sup>).

M. E. STACH a déterminé comme structures ligneuses de masses de houille brillante (Vitrit) *des aspects vermiculés* que présentent certaines surfaces simplement polies ([584], Fig. 19, p. 92 ; Fig. 20, p. 93). Ces aspects qui rappellent ceux des tissus ligneux véritables sont, en réalité, des *pseudo-structures ligneuses* résultant d'un polissage défectueux <sup>(2)</sup>. Ils représentent à un degré supérieur les défauts que montrent les figures 13 et 14 (Pl. III et IV) de ce mémoire où les pseudo-structures ligneuses *s'observent à l'intérieur d'une macrospore* (Fig. 14), caractère qui indique clairement qu'il s'agit de structures d'origine secondaire dues à une sorte de guillochage des surfaces polies. La comparaison des deux figures citées publiées par M. STACH permet, du reste, de se rendre compte que les pseudo-structures ligneuses de la figure 19 peuvent être observées sur toute la surface de la figure 20 et *existent aussi bien sur les corps résineux que dans les masses de houille amorphe encaissante*. Or, le caractère amorphe et homogène des dits corps résineux n'est mis en doute par personne, de sorte que l'argument ne peut être invoqué pour affirmer que cette houille amorphe montre une structure cellulaire.

Ce sont des pseudo-structures ligneuses analogues à celles des figures 19 et 20 que représente la figure 42 du même ouvrage ([584], p. 118). Dans ce dernier cas la pseudo-structure consiste en un *aspect celluleux* que l'on observe sur le bord d'un échantillon poli, aspect celluleux qui est en réalité un stade de polissage moins avancé que celui de la figure 19. De tels aspects cellulaires se rencontrent fréquemment sur les bords des préparations polies lorsque les surfaces de celles-ci deviennent convexes comme cela est presque de règle pour les échantillons de petite taille tels que ceux dont il est question ici. Dans ces conditions, les zones marginales échappent

(1). Voir à ce sujet la remarque faite dans la note infrapaginale (2) de la page 279. Comparer aussi les pseudo-structures ligneuses des figures 5 et 6 de M. M. TURNER ET RANDALL aux structures ligneuses véritables figurées par ces mêmes auteurs dans les figures 3, 4 et 11 (p. 310 à 313 du mémoire en question [657]).

(2). Cette défectuosité tient vraisemblablement à l'emploi d'un disque à polir en feutre ou en drap, car j'ai pu la réaliser expérimentalement par ces moyens.

en partie au polissage restent celluleuses et semblent passer graduellement vers le centre à des masses complètement homogènes. Ces pseudo-structures ne s'observent jamais dans les surfaces polies de houilles parfaitement planes et ne présentant pas de courbures convexes de leurs bords.

Plus récemment, M. O. STUTZER a publié à côté de très belles microphotographies de Fusain et de houille une figure montrant des pseudo-structures ligneuses ([628], p. 19, Fig. 6) qui donnent exactement lieu aux mêmes observations que la figure 42 de M. STACH. Ici encore les pseudo-structures s'observent sur le bord arrondi d'une préparation de charbon.

### 3°. — Pseudo-structures observées dans certains lits hétérogènes.

Le caractère amorphe des lits de houille brillante (Vitrain) a été souvent nié. Certains auteurs admettent, en effet, que l'absence de structure dans de tels lits *n'est qu'une apparence* et ne s'observe que dans les surfaces simplement polies. Selon eux les structures véritables ne peuvent être mises en évidence que par une attaque appropriée des lits d'aspects homogènes, la structure fine des lits hétérogènes eux-mêmes ne se révélant pleinement qu'après un traitement semblable.

Ces idées sont en particulier celles qui ont été exprimées par M. M. C. A. SEYLER [566] <sup>(1)</sup>, M. LEGRAYE [396, 398 <sup>ter</sup>] <sup>(2)</sup> et C. Y. HSIEH [327] au cours de ces dernières années.

Or, la comparaison des résultats obtenus par simple polissage <sup>(3)</sup> avec les figures publiées par les partisans de l'attaque permet de se rendre compte que *les surfaces simplement polies ont montré des structures fines que n'ont jamais révélé les procédés par polissage et attaque*.

Enfin, il y a lieu de faire remarquer que si les lits dont parlent les auteurs cités ne révèlent pas après simple polissage la totalité de leur structure *c'est uniquement parce que cette structure réelle se trouve masquée par des pseudo-structures secondaires* résultant des accidents de polissage que j'ai signalés dans le Chapitre IV<sup>e</sup> (p. 47 à 49).

Dans les cas observés par M. C. A. SEYLER les surfaces polies ne montrent que des structures d'ensemble que parce qu'elles *sont recouvertes d'une pellicule d'impuretés* qui masque la structure fine de la roche combustible <sup>(4)</sup>. *L'attaque au mélange chromique fait simplement disparaître cet encrassement* qu'il est facile d'éviter en menant convenablement les opérations de polissage.

Dans les exemples signalés par M. M. LEGRAYE l'aspect homogène des surfaces simplement polies est dû au développement d'un *poli spéculaire* qui détermine une *pseudo-structure amorphe* qui a une origine secondaire et n'appartient pas en propre à la roche combustible. Ici encore l'attaque ne fait que remédier à un accident de polissage <sup>(5)</sup> que l'on peut éviter en utilisant rationnellement les procédés de simple polissage sélectif.

(1). M.C.A. SEYLER s'exprime de la façon suivante ([566], p. 7) : « Polishing though useful for bringing out the main structures, does not reveal the fine details which are only visible — at best in hard coal — when the surface is further treated by etching ».

(2). D'après M. LEGRAYE ([396], p. B. 75) « des lits d'antracite complètement amorphes après polissage se révéleraient après attaque comme étant formés de lits de Vitrain, de Durain et de lentilles de Fusain ».

(3). Voir notamment les excellentes figures publiées par M. E. STACH [582, 584] et les microphotographies de mes publications antérieures [180 à 213 <sup>ter</sup>] ou des planches I à LXVI du présent mémoire.

(4). Voir plus haut, Chapitre IV<sup>e</sup>, p. 48, B.

(5). Voir plus haut, Chapitre IV<sup>e</sup>, p. 48, A.

#### 4<sup>o</sup>. — Signification de la présence des corps résineux dans certains lits de houille brillante (Vitrain).

Pour affirmer l'origine ligneuse des lits de houille brillante (Vitrain) M. M. C. COCKRAM et R. V. WHEELER [134] ont invoqué un fait d'observation assez fréquent qui est la présence dans certains de ces lits de houille brillante de corps résineux plus ou moins nombreux.

L'argumentation des deux auteurs anglais est logique lorsque l'on compare les lits de houille brillante en question avec des lames ligneuses contenant elles-mêmes des corps résineux. C'est ainsi qu'en comparant plusieurs figures de ce mémoire l'on peut se rendre compte que la disposition des corps résineux dans certains lits de houille brillante (Pl. XXIV, Fig. 124 et 125) rappelle d'assez près celle de ces mêmes corps figurés que l'on peut observer dans des lames ligneuses contenant des rayons médullaires. (Pl. XXIII, Fig. 117).

Mais en l'absence de structures ligneuses dans les masses avoisinantes, l'argument devient hypothétique. Il se trouve infirmé lorsque l'on étudie les modes de gisement des corps résineux unicellulaires à contours ovoïdes, non plus seulement dans la houille brillante (Vitrain) et dans les masses ligneuses, mais aussi dans les lits hétérogènes de houille mate (Durain) et de houille semi-brillante (Clarain). L'on constate alors que les corps résineux unicellulaires des lits de houille amorphe (Fig. 124 et 125) sont identiques à ceux que l'on observe à l'état isolé dans les lits de houille mate ou de houille semi-brillante (Pl. XX, Fig. 104 et 107, Pl. XXIII, Fig. 118 à 121, Pl. XXVI, Fig. 131, 134 à 138) où, comme je l'ai montré <sup>(1)</sup>, ces contenus cellulaires fossilisés avaient des individualités propres égales à celles des autres débris organisés tels que les spores, les cuticules et les débris de tissus ligneux.

Ces observations sont encore vraies pour les corps résineux pluricellulaires qui, dégagés des tissus ligneux adjacents, se rencontrent indifféremment dans les lits de *houille mate* (Durain). Fig. 98, 100 et 101 [Pl. XIX], 102 à 106 [Pl. XX] 112 à 113 [Pl. XXII] 122, 123 [Pl. XXIV], 126 à 130 [XXV]), dans les lits de *houille semi-brillante* (Clarain) (Fig. 108, 109 [Pl. XXI], 118, 119 [Pl. XXIII], 131, 134 à 138 [Pl. XXVI]) et dans les lits de *houille brillante* (Vitrain) (Fig. 133, Pl. XXVI).

D'autre part, je rappellerai ici pour mémoire que le mécanisme du morcellement des corps résineux pluricellulaires et de l'isolement des contenus cellulaires résinifiés a pu être mis en évidence grâce, notamment, aux figures 98 à 121 (Pl. XIX à XXIII) de ce mémoire <sup>(2)</sup>, qui expliquent ainsi pourquoi ces débris végétaux se rencontrent indistinctement dans les diverses conditions de gisement que je viens d'énumérer.

Toutes ces conditions de gisements peuvent s'observer, d'une part, dans la figure 125 (Pl. XXIV) où les mêmes corps résineux unicellulaires s'observent aussi bien dans la houille brillante (R) que dans la houille semi-brillante (R<sub>1</sub>) et, d'autre part, sur les figures 132 et 133 (Pl. XXVI) qui montrent les différences de disposition des corps résineux en place dans une masse ligneuse (Fig. 132) ou alignés dans un lit de houille brillante (Fig. 133) auquel ils impriment une allure glandulaire.

(1). Voir plus haut, Chapitre VI<sup>e</sup>, p. 113 et suivantes.

(2). Pour plus de détails consulter le Chapitre VI<sup>e</sup>, p. 104.

En résumé, la présence de corps résineux dans des lits de houille amorphe n'a la signification que leur accorde M. M. COCKRAM ET WHEELER que dans les cas particuliers que j'ai définis plus haut <sup>(1)</sup> où il s'agit des *lames ligneuses plus ou moins gélifiées* que j'ai désignées dans mes travaux antérieurs [183] par les termes Xylain et Xylovitrain.

Dans les lits de houille amorphe, de beaucoup les plus nombreux, auxquels j'ai attribué le nom de « *houille brillante* » et qui correspondent sensiblement à la définition du « *Vitrain* » de M<sup>me</sup> STOPES, la présence de ces corps résineux n'a pas d'autre signification que celles des spores (Pl. V, Fig. 21, Hb, Fig. 23, Ms<sub>1</sub> ; Pl. IX, Fig. 45, ms<sub>2</sub>) ou des menus débris de tissus ligneux (Pl. XXVIII, Fig. 147, Hb, d, d<sub>1</sub> ; Pl. XLVIII, Fig. 236, Tl) que l'on rencontre parfois en très petit nombre dans des lits dont l'aspect macroscopique est identique à celui des lits formés entièrement de houille amorphe colloïdale tels que ceux des figures 18 et 19 (Pl. V), 46 (Pl. IX), 212 (Pl. XL), 216 (Pl. XLII) etc... La présence de ces menus fragments de tissus végétaux, de provenances diverses, indique seulement qu'aux phénomènes de précipitation chimique ou biochimique générateur du gel colloïdal dont dérivent par durcissement les lits de houille brillante (Vitrain) pouvaient s'ajouter accidentellement les phénomènes de précipitation mécanique des débris végétaux, précipitation mécanique dont les intensités variables déterminaient, au contraire, la formation des lits de houille semi-brillante (Clairain) et de houille mate (Durain).

## Conclusions

En dernière analyse, tous les arguments invoqués en faveur de l'origine ligneuse des lits de houille brillante (Vitrain) se réduisent à des pseudo-structures ou à la généralisation trop rapide de faits d'observation vrais dans certains cas particuliers à des cas plus généraux où ils cessent de pouvoir être appliqués.

La théorie de l'Anthraxylon de THIESSEN aboutit donc à substituer une conception hypothétique à ce que nous enseigne l'analyse stricte et rigoureuse des faits d'observation qui montre que les lits de houille brillante (Vitrain) dérivent du durcissement d'un *gel colloïdal* formé par précipitation chimique ou biochimique, gel colloïdal en tous points identique à ceux qui ont donné naissance aux ciments ou pâtes des lits de houille semi-brillante (Clairain) ou de houille mate (Durain)..

(1). Voir : Chapitre VII<sup>e</sup>, notamment p. 130 et suivantes.

## CONCLUSIONS

### DE L'ÉTUDE MICROSCOPIQUE DES HOUILLES

L'étude microscopique des houilles du Nord de la France permet de tirer les conclusions générales suivantes :

1<sup>o</sup>. — Toutes les houilles étudiées sont des roches sédimentaires caractérisées par une stratification extrêmement fine.

2<sup>o</sup>. — Les seuls débris organisés que renferment les houilles ont des dimensions telles (spores) ou présentent des états de division tels (fragmentation des tissus ligneux, des tissus sécréteurs et des feuilles) qu'ils ont pu être facilement transportés par les vents ou par flottage en eaux calmes, caractère qui explique leur classement mécanique.

3<sup>o</sup>. — Dans les lits élémentaires des houilles les débris organisés étalés parallèlement au plan de stratification ne se touchent pas et sont noyés dans un ciment organique amorphe résultant de la précipitation chimique de substances végétales en solution ou en pseudo-solution dans les eaux de la lagune houillère.

4<sup>o</sup>. — L'étude microscopique des substances minérales des houilles montre que les particules argileuses qui caractérisent les schistes existent dans certaines houilles cendreuses, tandis que l'examen microscopique de certains schistes révèle qu'ils contiennent les mêmes débris organisés et le même ciment organique que les charbons proprement dits. Ces deux études permettent en outre de reconnaître des termes de passage entre les schistes et les houilles qui présentent, par conséquent, au point de vue sédimentaire des caractères communs.

5<sup>o</sup>. — L'étude des houilles plissées, fracturées ou caractérisées par le développement d'une véritable schistosité (cassures particulières) montre que les actions mécaniques qu'elles ont subies et qui ont entraîné leur déformation n'ont pas affecté sensiblement, d'une part, l'état de fossilisation des débris organisés qu'elles contiennent et, d'autre part, leur composition chimique.

6<sup>o</sup>. — L'Étude des lits de houilles remaniées, formés par agglutination de galets de charbon, montre que les couches de houille ont bien passé par l'état plastique que suppose leur formation par enrobage des débris organisés dans un ciment individualisé à l'état de gel colloïdal. Elle démontre, en outre, que la roche combustible acquérait très tôt les caractères microscopiques que nous observons aujourd'hui, puisque la structure du charbon remanié dans les grès houillers est identique à celle que présentent les roches combustibles dans les veines de houille en place.



DEUXIÈME PARTIE

STRUCTURE MACROSCOPIQUE DES HOUILLES

SOMMAIRE

CHAPITRE XIV<sup>e</sup>. — La Nomenclature des Constituants macroscopiques des houilles.

CHAPITRE XV<sup>e</sup>. — Description des lits élémentaires ou Constituants macroscopiques des houilles du Nord de la France.

CHAPITRE XVI<sup>e</sup>. — Les Constituants macroscopiques envisagés au point de vue des traitements industriels des houilles.

CHAPITRE QUATORZIÈME

**La Nomenclature des constituants macroscopiques  
des houilles**

SOMMAIRE

I. — HISTORIQUE. — *Les terminologies successives.* — A. Nomenclature de H. FAYOL (1887). — B. Nomenclature de M. C. STOPES (1919). — C. Nomenclature de R. THIESSEN (1920). — D. Nomenclature de E. JEFFREY (1924). — E. Nomenclature de R. POTONÉ (1926). — F. Nomenclature du GEOLOGISCHEN PREUSSISCHEN LANDESANSTALT (1928).

II. — TERMINOLOGIE ADOPTÉE DANS LES PRÉSENTES RECHERCHES (1927).

Si à l'origine les nomenclatures des constituants des houilles discernables à l'œil nu n'ont pas été érigées en système, il n'est pas douteux qu'elles existaient en fait dans les premières descriptions des roches combustibles. Ces nomenclatures ont trouvé leur meilleure expression dans les termes usuels de *Fusain*, de *houille mate* et de *houille brillante* qui ont leurs équivalents dans tous les langages civilisés.

I

**Les différentes nomenclatures**

**A. — Nomenclature macroscopique de H. Fayol (1887).**

L'on doit à HENRY FAYOL une nomenclature macroscopique des houilles dont les termes ne sont guère employés aujourd'hui, mais dont la justesse se trouve démontrée par le fait que les nomenclatures modernes procèdent exactement des mêmes notions, toute leur nouveauté con-

sistant presque uniquement dans le changement des appellations des constituants macroscopiques.

Dans son beau mémoire sur la lithologie et la stratigraphie du Bassin houiller de Commentry [225], FAYOL a consacré tout un chapitre (Chap. III) aux études macroscopique et chimique des houilles bitumineuses de ce gisement parmi lesquelles il a décrit deux types macroscopiquement distincts :

a. — HOUILLES A QUATRE CONSTITUANTS MACROSCOPIQUES.

Dans ce premier type de charbon FAYOL avait reconnu la présence de lits ou de lentilles d'aspects différents auxquels il a attribué les noms suivants :

1<sup>o</sup>. — Le *Fusain* ou *houille mate fibreuse* se rencontre en menus fragments aplatis, isolés ou groupés entre les lames claires et les zones ternes et en très petits fragments répartis dans la houille grenue. Il forme parfois des petits amas de quelques mètres de longueur et de 10 à 20 centimètres d'épaisseur. Il est tendre, d'aspect soyeux et se rapproche souvent de l'anhracite par ses propriétés chimiques.

2<sup>o</sup>. — La *Houille terne* forme des lits compacts dont l'épaisseur varie entre quelques millimètres, plusieurs décimètres et parfois plusieurs mètres. Ces lits peuvent avoir une *texture grenue* (houilles grenues), mais sont dans certains cas formés par des empilements de minces filets et offrent alors la *texture rayée* (houilles rayées ou feuilletées). Certaines houilles ternes passent au Cannel-Coal. Les termes de « houille terne » et de « houille grenue » sont utilisés par FAYOL comme synonymes.

3<sup>o</sup>. — La *houille moyenne* que FAYOL désignait le plus souvent par le terme de *houille foliaire* <sup>(1)</sup> possède un certain éclat qui est néanmoins beaucoup moins vif que celui des houilles claires.

4<sup>o</sup>. — La *houille claire* se présente en lames dont l'épaisseur, *ordinairement de quelques millimètres*, atteint parfois quelques centimètres et même un à deux décimètres. Ces lames lenticulaires ont des longueurs variant entre quelques centimètres et plusieurs dizaines de mètres, leur largeur dépasse rarement un mètre. Les lames claires sont constituées par de la *houille compacte, brillante, homogène, pure et ordinairement divisée en petits fragments par de nombreux plans de clivage*. Elles représentent, selon lui, des tronçons de tiges et de branches ligneuses.

b. — HOUILLES A TROIS CONSTITUANTS MACROSCOPIQUES.

Dans certaines veines de Commentry et de bassins houillers voisins, FAYOL a signalé la présence de houilles à trois constituants macroscopiques qui sont :

1<sup>o</sup>. — Le *Fusain* ou *houille mate fibreuse*.

2<sup>o</sup>. — La *houille moyenne* ou *houille foliaire* à éclat assez vif.

3<sup>o</sup>. — La *houille claire* à éclat très vif.

Les caractères de ces lits ou lentilles d'aspects différents sont ceux des constituants correspondants des houilles du premier groupe (a).

(1). FAYOL considérait les houilles moyennes comme représentant des accumulations de feuilles.

H. FAYOL a non seulement décrit les différents lits élémentaires des houilles de Commentry, mais a encore donné de nombreuses analyses chimiques de chacun d'eux, analyses qui lui ont permis de tirer quelques conclusions importantes que sont venues confirmer certaines recherches récentes.

FAYOL put ainsi signaler dès 1887 que dans le charbon bitumineux de la grande couche de Commentry les *houilles claires* (= Vitrain = Anthraxylon) sont caractérisées par des teneurs en cendres très faibles et des pouvoirs cokéfiant élevés, que les *houilles ternes* (= Durain = Attritus) plus riches en cendres donnent généralement des cokes de médiocres qualités, tandis que les *houilles moyennes* (= Clarain = Attritus) ont des propriétés intermédiaires entre celles des deux types extrêmes. Quant au *Fusain*, il put également montrer qu'il représente dans les houilles bitumineuses un véritable anthracite ligneux <sup>(1)</sup> dépourvu de pouvoir cokéfiant et donnant à la distillation des gaz à pouvoirs éclairants faibles ou nuls.

Enfin, FAYOL avait également signalé que les constituants macroscopiques qu'il a décrits, ou tout au moins certains d'entre eux, se retrouvent avec des aspects semblables dans les houilles grasses, dans les houilles maigres et dans les anthracites du Centre de la France.

#### B. — Nomenclature macroscopique de M. C. Stopes (1919).

La nomenclature proposée par M<sup>me</sup> M. C. STOPES en 1919 [608] est quasi identique à la nomenclature quadripartite de FAYOL et n'en diffère guère que par les termes employés pour nommer trois des constituants macroscopiques.

Cette nomenclature, qui ne s'applique dans l'esprit de son auteur qu'aux « *bituminous coals* » <sup>(2)</sup>, comprend les quatre termes suivants :

1<sup>o</sup>. — Le *Fusain* est l'équivalent des termes « Mineral Charcoal », de « Mother of Coal », de « Faserkohle », de « houille mate fibreuse », de « houille daloïde », etc..., termes employés couramment dans différents pays. M<sup>me</sup> STOPES attribue à ce terme le sens qu'on lui donne depuis longtemps en France pour désigner une variété de houille mate, pulvérulente, présentant parfois des éclats soyeux ou moirés, d'aspect identique à celui du charbon de bois artificiel dont il possède, du reste, la composition et toutes les propriétés chimiques et physiques. Le plus souvent très friable il se laisse tailler au canif et se rencontre interstratifié dans le Clarain et plus rarement dans le Vitrain. M<sup>me</sup> STOPES ne signale pas sa présence dans le Durain.

2<sup>o</sup>. — Le *Durain* est l'équivalent des lits désignés dans différentes langues par les termes « houille mate » « houille mate compacte », « houille terne », « dull hard coal », « Mattkohle », etc. Il possède une structure compacte, une cassure grenue, un éclat faible ou nul et une dureté relativement grande. Il existe en lits d'épaisseurs variables qui peuvent contenir de minces filets de Clarain ou de Vitrain et présente alors l'aspect caractéristique des houilles feuilletées ou houilles rayées.

(1). FAYOL a décrit sous le nom de *Fusain lamellaire* un constituant hétérogène dont les propriétés chimiques sont très voisines de celles des houilles ternes ou des houilles moyennes et que d'après les recherches récentes l'on peut considérer, à mon avis, comme des houilles ternes ou moyennes très riches en menus débris de Fusain.

(2). Ces *bituminous coals* sont les équivalents des houilles bitumineuses de la grande couche de Commentry étudiées par FAYOL. M. J. COOPER a démontré, d'autre part, en 1924 [135] que la nomenclature de Stopes doit être appliquée non seulement aux houilles bitumineuses, mais encore aux houilles à coke et aux anthracites.

3°. — Le *Clarain* forme des lits d'épaisseurs variables analogues aux lits de *Durain* dont il ne se distingue que par une cassure unie toujours douée d'un certain éclat moins vif que celui du *Vitrain*. Il contient fréquemment de minces filets de *Durain* et de *Vitrain* qui lui donnent l'aspect des houilles feuilletées ou rayées.

4°. — Le *Vitrain* caractérisé surtout par son éclat très vif, sa cassure conchoïdale et son homogénéité se rencontre souvent sous forme de lits très minces de 2 à 8<sup>mm</sup> d'épaisseur, plus rarement en lits de plus de 10<sup>mm</sup>. Ces lits minces et lenticulaires s'étendent, par contre, sur des espaces dépassant plusieurs mètres et se réduisent fréquemment en menus fragments, de formes cubiques, par suite de la présence d'une sorte de clivage.

L'ensemble « *Clarain-Vitrain* » de M<sup>me</sup> STOPES, comme l'ensemble « houille moyenne — houille claire » de H. FAYOL, correspond aux lits que l'on a le plus souvent confondus sous les noms de « houille brillante », de « bright coal » de « glance coal » et de « Glanzkohle » etc.

Les études chimiques des constituants macroscopiques de STOPES, qui ont été faites par M. LESSING [407, 408] et M. M. TIDESWELL ET WHEELER [652], sont venues confirmer, dans leur ensemble, les résultats publiés par FAYOL en 1887.

L'identité des termes de FAYOL (*Fusain*, houille terne, houille moyenne, houille claire) et des termes de STOPES (*Fusain*, *Durain*, *Clarain*, *Vitrain*), déjà mise en évidence par les descriptions succinctes que je viens de donner, apparaît encore plus clairement à la lecture des publications de ces deux auteurs, les figures schématiques ou autres de la distinguée paléobotaniste rendant compte des mêmes faits d'observation cités dans le texte du Directeur des houillères de Commentry.

La seule différence existant entre ces deux expressions d'idées identiques a trait à la nature des lits de *houille claire* ou *Vitrain* auxquels FAYOL attribuait une origine ligneuse, tandis que M<sup>me</sup> STOPES les considérait comme représentant une pulpe végétale. Le fait qu'il s'agit de *constituants macroscopiques*, qui doivent par conséquent être déterminables à l'œil nu, ne permet pas d'attacher une grande importance à cette divergence d'opinions sur la structure microscopique des lits de houille amorphe, car aujourd'hui les auteurs anglais ont adopté sur ce point l'opinion de FAYOL, reprise récemment par M. THIESSEN ; ce qui enlève du reste à cette divergence une partie de son intérêt.

### C. — Nomenclature macroscopique de Reinhardt Thiessen (1920)

Moins d'une année après M<sup>me</sup> STOPES, M. R. THIESSEN a proposé [639] une nomenclature à trois termes qui s'identifie avec la nomenclature tripartite de H. FAYOL. Les trois termes employés sont :

1°. — Le *Minéral Charcoal* ou « charbon de bois minéral » est l'équivalent du *Fusain* de FAYOL.

2°. — L'*Attritus* est un constituant qui d'après une note récente de M. M. THIESSEN ET FRANCIS [646] serait l'équivalent des « houilles moyennes » de FAYOL et du « *Clarain* » de STOPES (1).

(1). Jusqu'à ces dernières années l'on admettait généralement que l'*attritus* correspondait au *DURAIN* de Stopes, M. THIESSEN ayant défini ce constituant comme correspondant aux houilles mates (dull-coals). D'après sa dernière mise au point [646] ce qu'il déterminait en 1920 comme houille mate aurait été classé à la même époque parmi les houilles brillantes (*Clarains*)

3°. — L'*Anthraxylon* est l'équivalent des « houilles claires » de FAYOL et représente d'après M. THIESSEN, qui accepte l'opinion de l'auteur français, des masses gélifiées de tissus ligneux (tiges, branches.)

#### D. — Nomenclature macroscopique de E. C. Jeffrey (1924)

En 1924, M. E. C. JEFFREY a préconisé [348] une nomenclature qui s'identifie comme celle de M. THIESSEN avec la nomenclature tripartite de FAYOL. Les termes proposés sont les suivants :

- 1°. — Le *Minéral Charcoal* s'identifie avec le Fusain.
- 2°. — Le *Canneloïd* correspond aux houilles ternes <sup>(1)</sup>.
- 3°. — Le *Lignitoïd* présente les caractères des « houilles claires » de FAYOL.

#### E. — Nomenclature mixte de R. Potonié (1926)

Après avoir d'abord proposé de substituer aux termes de STOPES les appellations rigoureusement synonymes de *Fusit*, *Durit*, *Clarit* et *Vitrit*, dont les consonnances se prêtent mieux paraît-il à un emploi universel, M. R. POTONIÉ a préconisé l'usage d'une nomenclature plus compliquée [490 et 491] en subdivisant certains constituants macroscopiques à l'aide de caractères purement microscopiques.

Cette nomenclature qui a par conséquent des caractères mixtes (macro-et-microscopiques) comprend les termes suivants :

- 1°. — Le *Fusit* est l'équivalent du Fusain de FAYOL.
- 2°. — Le *Durit* qui correspond aux houilles ternes ou Durains se subdivise en deux groupes :
  - a) Le *Torfdurit* est une houille terne compacte d'origine tourbeuse.
  - b) Le *Sapropeldurit* est une houille terne d'origine sapropélienne <sup>(2)</sup>.
- 3°. — Le *Clarit* représente à peu près les houilles moyennes de FAYOL.
- 4°. — Un groupe de trois constituants forme sensiblement l'équivalent des houilles claires de FAYOL. Ce sont :
  - a) L'*Euvitrit* qui est une houille brillante amorphe.
  - b) Le *Lignitoïd* ou houille brillante d'origine ligneuse.
  - c) Le *Suberitoïd* ou houille brillante provenant du liège ou suber.

La distinction entre l'*Euvitrit* et le *Lignitoïd* est identique à celle que j'ai proposée à peu près à la même époque ([183], 1926) en préconisant l'emploi des termes *Vitrain* et *Xylovitrain*.

Quant au terme *Suberitoïd* la présence du liège n'ayant été constatée jusqu'ici que dans les

par M<sup>me</sup> STOPES. Ce fait met bien en évidence le caractère approximatif des déterminations macroscopiques et s'explique facilement si l'on considère que dans les houilles à trois constituants l'on a toujours tendance à donner le nom de houille mate aux lits les moins brillants. Dans ce cas, il est impossible d'éviter le jeu de facteurs personnels à chaque chercheur et des confusions qui perdent beaucoup de leur importance lorsque les lits sont bien définis au point de vue microscopique.

(1). FAYOL a maintes fois insisté sur les analogies et le passage latéral des houilles ternes au Cannel-coal.

(2). Dans cette distinction entre les *Torfdurit* et les *Sapropeldurit* M. R. POTONIÉ a repris les deux notions de H. POTONIÉ des charbons humiques dont le type est la tourbe et des charbons bitumineux représentés surtout par les sapropèles.

combustibles de la fin du Carbonifère intercalés dans les couches où l'on trouve la flore à Glossoptéris ou dans les combustibles d'âges plus récents, son emploi semble devoir être écarté en ce qui concerne les houilles westphaliennes.

### F. — Nomenclature double du Geologischen Preussischen Landesanstalt (1928)

Les spécialistes allemands, M. M. H. BODE, GOTHAN, GROPP, R. POTONIÉ et E. STACH, se sont mis d'accord pour adopter une double nomenclature que M. H. BODE a exposée sous le nom de Nomenclature du Geologischen Preussischen Landesanstalt [95].

#### a. — TERMINOLOGIE MACROSCOPIQUE

Au point de vue macroscopique, les paléobotanistes allemands préconisent désormais l'emploi des anciens termes qui sont :

- 1° — *Faserkohle* synonyme de Fusain.
- 2° — *Mattkohle* correspondant aux houilles ternes de FAYOL.
- 3° — *Glanzkohle* utilisé pour désigner les houilles moyennes et les houilles claires de ce même auteur.

#### b. — TERMINOLOGIE MICROSCOPIQUE

Dans les descriptions microscopiques les auteurs allemands préconisent, au contraire, une nomenclature composée de noms dérivés de ceux proposés par M<sup>me</sup> STOPES pour désigner des constituants déterminables à l'œil nu. Ces termes sont :

- 1° — *Fusit* (= Fusain)
- 2° — *Durit* comprenant les houilles ternes de FAYOL (= Durain) et une partie des houilles moyennes (= Clarain).
- 3° — *Vitrit* formant un ensemble correspondant aux houilles claires de Fayol (= Vitrain) et à une partie des houilles moyennes (= Clarain), ensemble se subdivisant en deux constituants :
  - a) Le *Provitr* est une houille brillante où l'on distingue encore des structures végétales.
  - b) L'*Euvitrit* ou houille brillante sans structure.

Ces nomenclatures se compliquent encore par l'emploi de termes secondaires tels que *Sporendurit*, *Cuticulendurit*, *vitritischen Durit*, *Metadurit* parmi les dénominations microscopiques, et de *glanzstreifige Mattkohle*, *mattstreifige Glanzkohle* dans le cas des appellations macroscopiques <sup>(1)</sup>.

Il n'est pas douteux, étant données les différences des méthodes de détermination employées, que les termes *Fusit*, *Durit* et *Vitrit* correspondent à des constituants mieux définis que ceux auxquels on réserverait les dénominations de *Faserkohle*, *Mattkohle* et *Glanzkohle*. Cepen-

(1). Les expressions *glanzstreifige Mattkohle* et *mattstreifige Glanzkohle* correspondent respectivement aux houilles feuilletées et aux houilles foliaires de FAYOL. Tous ces combustibles entrent dans la catégorie des houilles rayées (*Streifenkohle*).

dant, il n'en est pas moins vrai que dans la plupart des cas il y a identité entre les termes correspondants pour lesquels on se trouve alors amené à utiliser deux appellations différentes dont l'une pourrait avantageusement être supprimée.

## II

### Nomenclature adoptée dans les présentes recherches

Toutes les nomenclatures récentes avaient pour buts principaux de remédier au manque de précision des appellations usuelles et de préconiser l'emploi de termes susceptibles d'être utilisés dans n'importe quelle langue.

Ces résultats n'ont pas été atteints puisque ces tentatives ont en réalité abouti, d'une part, à la multiplicité des terminologies et que, d'autre part, les termes nouveaux ne sont guère plus précis que les anciens auxquels on prétend les substituer. Dans cette question certains auteurs semblent avoir complètement perdu de vue, tout d'abord, *qu'il s'agit de nomenclatures macroscopiques* dont on ne peut exiger qu'une précision très relative en rapport avec les imperfections des méthodes d'investigations employées (examen à l'œil nu ou à la loupe) dont les portées sont très limitées et qu'ensuite il ne peut être question d'envisager dans la détermination purement macroscopique des lits élémentaires des houilles un recours à des procédés d'investigation susceptibles de changer complètement le caractère de la terminologie utilisée.

C'est ainsi qu'une définition précise des constituants macroscopiques à l'aide de caractères observables au microscope transforme la terminologie qui devient alors essentiellement microscopique et cesse de pouvoir être employée dans les simples examens à l'œil nu ou à la loupe pour lesquels elle avait été créée. L'on en arrive ainsi à introduire une terminologie microscopique dont l'utilité devient très contestable comme toute terminologie de ce genre. En effet, s'il ne paraît pas douteux que dans le domaine macroscopique, forcément assez vague, une nomenclature à un petit nombre de termes peut donner toute satisfaction et être d'un emploi commode, il est certain que dans les recherches microscopiques qui doivent être au contraire très précises, toute terminologie exige l'usage de termes très nombreux et aboutit fatalement à l'adoption d'un langage conventionnel qui ne peut dans aucun cas être considérée comme une simplification de la question. La description pure et simple des faits observés sera toujours préférable à l'usage arbitraire d'un vocabulaire particulier qui ne pourra jamais s'adapter complètement à la diversité des structures à définir.

D'autre part, il paraît bien improbable que l'on puisse arriver un jour à une définition précise et certaine des constituants macroscopiques sans une étude microscopique sérieuse. C'est ainsi que dans le cas le plus délicat, où il s'agit de distinguer une *houille brillante* d'une *houille semi-brillante* à éclats très voisins, l'emploi des microphotomètres, dont l'usage tend à se généraliser sous diverses formes dans les recherches minéralogiques en lumière réfléchie polarisée <sup>(1)</sup>, semble devoir présenter certaines difficultés d'application. L'éclat des *houilles semi-bril-*

(1). J. ORCEL. — Sur l'emploi de la pile photoélectrique pour la mesure du pouvoir réflecteur des minéraux opaques. *C. R. Acad. Sci.*, 185, 1927, p. 1.141. — Remarques sur la mesure du pouvoir réflecteur des minéraux opaques et des minéraux transparents très réfringents, *ibid.*, 187, 1928, p. 1.055. — Voir aussi [40] et [458].

*lantes* (Clarains) représente, en effet, la composante des éclats différents de deux constituants microscopiques (débris organisés et ciment amorphe), tandis que celui des *houilles brillantes* (Vitains) appartient en propre à une substance homogène. Ce procédé nouveau d'investigation paraît donc n'être applicable qu'à une étude comparative des pouvoirs réflecteurs des différents types de houilles brillantes.

Dans l'état actuel de nos connaissances, il apparaît bien que la définition purement macroscopique des constituants des houilles autres que le Fusain ne peut être perfectionnée et il est évident que les nouveaux termes des nomenclatures de STOPES et de THIESSEN ne sont pas plus précis que ceux de la terminologie de FAYOL avec lesquels ils s'identifient. Les nomenclatures récentes n'ont apporté que des appellations nouvelles et ne représentent pas un système de classification différent de celui préconisé par FAYOL en 1887 qui semble être demeuré ignoré même des spécialistes tels que M<sup>me</sup> STOPES et M. R. THIESSEN qui ont abordé ce problème au cours des quinze dernières années.

L'étude descriptive qui fera l'objet du chapitre suivant met en évidence que si l'on excepte le Fusain, qui est une entité suffisamment définie, tous les termes employés jusqu'ici pour désigner les constituants des charbons *ne s'appliquent réellement qu'à des aspects macroscopiques semblables* qui peuvent être observés dans des lits élémentaires lithologiquement et chimiquement différents.

Dans ces conditions, les inconvénients des nouvelles nomenclatures n'ont pas tardé à se manifester et dès 1926 M. TH. LANGE, auquel l'on doit de nombreuses et très intéressantes études [371 à 379] sur les houilles allemandes et polonaises, a renoncé aux terminologies récentes auxquelles il a préféré l'ancienne nomenclature plus simple et plus rationnelle comprenant les termes *Faserkohle*, *Matthohle* et *Glanzkohle* dont les équivalents constituent dans chaque langue les appellations les plus simples, les plus commodes et les moins sujettes à provoquer des erreurs d'interprétation.

C'est en m'inspirant d'idées identiques que, malgré le succès de vulgarisation obtenu par la terminologie de STOPES, j'ai proposé en 1927 [201], alors que je n'avais pas eu connaissance de l'opinion de M. TH. LANGE, d'en revenir à l'ancienne nomenclature macroscopique légèrement modifiée par l'addition d'un quatrième terme rendu nécessaire par le fait que la plupart de nos houilles bitumineuses contiennent quatre constituants macroscopiques <sup>(1)</sup>.

Depuis lors, j'ai utilisé les termes suivants qui feront l'objet de descriptions complètes dans le chapitre quinzième :

1<sup>o</sup> — Le *Fusain* est l'équivalent de celui de FAYOL.

2<sup>o</sup> — La *houille mate* correspond à la « houille terne » de ce même auteur et au « Durain » de STOPES.

3<sup>o</sup> — La *houille semi-brillante* s'identifie avec la « houille moyenne » et le « Clarain ».

4<sup>o</sup> — La *houille brillante* est identique à la « houille claire » et au « Vitrain ».

(1). La nomenclature à quatre termes que j'ai proposée en 1927 est identique à celle de FAYOL que je n'ai pas cru devoir adopter pour les raisons suivantes : Le terme *houille claire* ne se définit pas de lui-même et son emploi prête aux mêmes inconvénients que celui des mots Vitrain, Clarain et Durain. Le terme *houille foliaire* beaucoup plus employé par cet auteur que celui de houille « moyenne » qui lui est préférable préjuge de l'origine du lit en question, origine qui ne peut être reconnue au simple examen macroscopique ; il prête à ambiguïté avec le terme *houille feuilletée* souvent considéré comme synonyme de « houille terne ». Ces termes n'ont guère été utilisés que par FAYOL alors que ceux que j'emploie existent depuis toujours dans le langage courant et se définissent d'eux mêmes.



TABLEAU VI  
NOMENCLATURES DES CONSTITUANTS DES HOUILLES

NOMENCLATURES MACROSCOPIQUES						NOMENCLATURES MIXTES		
H. Payot (1887)	M. C. Stopes (1919)	A. Duparquet (1927)	Anciennes nomen- clatures	R. Thiessen (1920)	E. Jeffrey (1924)	R. Potonié (1926)	Preussischen Geologischen Landesanstalt (1928)	
							macroscopique	microscopique
Fusain	Fusain	Fusain	Fusain H. mate fibreuse Mineral Charcoal Mother of coal Faserkohle	Mineral Charcoal	Minéral Charcoal	Fusit	Faserkohle	Fusit
H. terne <i>Houille grenue</i>	Durain	Houille mate	Houille mate Houille terne Mat-coal Dull-coal Mattkohle	Attritus	Canneloïd	Sapropel- durit Torfdurit Clarit	Mattkohle	Durit
H. moyenne <i>Houille foliaire</i>	Clarain	Houille semi-bril- lante	Houille brillante Bright coal Glance coal Glanzkohle	Anthra- xylon	Lignitoïd	Suberitoïd Lignitoïd	Glanzkohle	} Provitrit Vitrit Euvitrit
Houille claire	Vitrain	Houille brillante				Euvitrit		
Nomenclatures quadripartites			Nomenclatures tripartites <sup>(1)</sup>					

Tous ces termes présentent l'avantage, lorsque l'on se cantonne strictement dans le domaine macroscopique, de se définir d'eux mêmes et de ne prêter à aucune équivoque <sup>(2)</sup>.

Le tableau VI donne la concordance des différentes terminologies qui ont été utilisées dans les descriptions macroscopiques des houilles.

(1), (2). — (Voir notes (1) et (2) page suivante).

## Conclusions du Chapitre quatorzième

De l'exposé précédent l'on peut tirer les conclusions suivantes :

1<sup>o</sup> — Les nomenclatures récentes *sont quasi identiques à celles proposées par FAYOL en 1887*. Les descriptions de ce dernier auteur sont au moins aussi précises que les figurations des auteurs modernes et l'étude chimique publiée par lui avait fixé dès cette époque les caractères et les propriétés industrielles des quatre constituants macroscopiques des charbons. Néanmoins, la nomenclature de FAYOL ne peut être utilisée telle quelle, car certains de ses termes (houille foliaire, houille feuilletée, houille moyenne) prêtent à ambiguïté ou ne se définissent pas d'eux-mêmes.

2<sup>o</sup> — Toutes les tentatives modernes qui avaient pour but d'amener des simplifications par l'emploi de termes unifiés *ont abouti, en fait, à une complication extrême* résultant des confusions qui sont nées de la multiplicité même des terminologies utilisées et des nombreux changements apportés par certains chercheurs dans le sens des termes proposés. Notamment, l'emploi dans des sens plus ou moins différents de noms identiques ou à consonnances semblables n'a pas peu contribué à compliquer une question fort claire et très simple en elle-même.

3<sup>o</sup> — Cette complication de la question résulte, au moins en partie, du fait que trop souvent l'on semble avoir complètement perdu de vue *qu'il s'agit d'une nomenclature macroscopique* dont on ne peut exiger une précision contraire à la nature même des constituants auxquels elle s'applique et à la faible portée des méthodes d'investigation employées dans les déterminations de ce genre.

4<sup>o</sup> — Il y a intérêt à ne pas attribuer aux termes des nomenclatures macroscopiques des sens trop étroits et trop précis qui restreignent très rapidement leur emploi qui n'a d'autre raison d'être que de simplifier le langage. Dans ces conditions, il y a lieu, à mon avis, d'abandonner toutes les terminologies modernes et d'en revenir à la nomenclature ancienne; les termes qui conviennent le mieux étant ceux qui se définissant d'eux-mêmes ne prêtent à aucune équivoque, soit sur leurs usages respectifs, soit sur leurs véritables significations. Les termes *houille mate, houille semi-brillante et houille brillante* sont actuellement ceux qui répondent le mieux à ces exigences par le fait qu'ils sont, en réalité, la simple expression du langage courant.

(Notes correspondant au tableau et au texte de la page précédente)

(1). Dans ce tableau schématique les limites entre les deux derniers termes des nomenclatures tripartites ont été placées sur une même droite, bien que les différentes appellations employées ne sont pas rigoureusement synonymes. De même, la position de cette limite par rapport au quatrième constituant des nomenclatures quadripartites n'est qu'approximative. Il convient, du reste, de faire remarquer que dans certains cas il devient quasi impossible de raccorder rigoureusement les deux types de nomenclatures et les nomenclatures tripartites entre elles.

(2). Je tiens à signaler, ici, que contrairement à une opinion que m'a prêtée M. H. BODE ([95], tableau de la page 710)-je n'ai jamais eu l'intention d'introduire les termes *Xylain* et *Xylovitrain* dans la nomenclature des constituants macroscopiques des houilles. Dans la note où j'ai préconisé l'emploi de ces deux nouveaux termes j'avais eu soin de bien spécifier ([183], p. 61) que : « *Les trois termes Fusain, Xylain et Xylovitrain représentent des états d'altération différents et progressifs des tissus ligneux et doivent être considérés comme des constituants microscopiques des houilles entrant dans la catégorie des corps figurés* » et de souligner « *qu'au contraire, en se plaçant au point de vue macroscopique, les termes Xylain et Xylovitrain ne sont plus les équivalents du terme Fusain, car ce dernier désigne un constituant visible à l'œil nu, tandis que les deux autres s'appliquent à des constituants qui ne peuvent être distingués macroscopiquement l'un de l'autre dans la houille mate (Durain) et ne sont visibles qu'au microscope dans la houille brillante (Clarain).* »

## CHAPITRE QUINZIÈME

# Description des lits élémentaires ou constituants macroscopiques des houilles du Nord de la France

### SOMMAIRE

- I. — LE FUSAIN.
- II. — LES HOUILLES MATES.
- III. — LES HOUILLES SEMI-BRILLANTES.
- IV. — LES HOUILLES BRILLANTES.

Toute étude sérieuse des lits élémentaires des houilles, que l'on désigne aujourd'hui sous le nom de « constituants macroscopiques », suppose non seulement la description de leur aspect extérieur, mais encore la définition de leurs caractères microscopiques ; définition qui permet seule de mettre en évidence leur pluralité d'origine et leur signification dans les veines de charbon.

Ce sont les résultats d'une telle étude que j'exposerai dans le présent chapitre.

## I

### LE FUSAIN

La distinction de ce constituant est probablement aussi ancienne que la connaissance de la houille elle-même dans la masse de laquelle il se distingue *par un aspect particulièrement typique* rappelant à s'y méprendre celui du charbon de bois artificiel ou braise. C'est cet aspect qui lui a valu en France le nom de Fusain (charbon de bois à dessiner) et en Angleterre celui de Mineral Charcoal (charbon de bois minéral). C'est sa texture fibreuse qu'il partage également avec le charbon de bois artificiel qui a déterminé en Allemagne le choix du terme Faserkohle (charbon fibreux).

#### A. — Caractères macroscopiques du Fusain.

Le Fusain est le mieux défini de tous les constituants des houilles, et ceci se comprend facilement par le fait qu'il est le seul à conserver dans toutes les variétés de charbon une unité de structure microscopique et de composition chimique remarquable. Ses caractères sont les suivants :

1<sup>o</sup> — L'*éclat* du Fusain bien que faible est néanmoins typique et spécifique de sa substance. Il se réduit en un *lustre soyeux, fibreux*, souvent *moiré* qui a valu à ce constituant les appellations de houille mate fibreuse (Faserkohle) et de houille soyeuse qu'on lui a données fréquemment. Ce lustre est entièrement différent de l'aspect terne et compact des Houilles mates (Durains) et des éclats beaucoup plus vifs des houilles semi-brillantes (Clarains) et brillantes (Vitains); il suffit à lui seul pour caractériser le Fusain.

2<sup>o</sup> — La *dureté* du Fusain est très variable. Le plus souvent elle est faible dans les Fusains très purs rayables à l'ongle et fréquemment pulvérulents, elle s'élève progressivement dans les variétés cendreuses. Certains Fusains fortement imprégnés de Pyrite ou de Sidérose acquièrent une dureté élevée et une grande compacité.

3<sup>o</sup> — La *poussière* du Fusain est d'un noir intense surtout dans les variétés pauvres en cendres qui sont tendres, pulvérulentes et laissent sur le papier ou sur la porcelaine des traînées épaisses et compactes. Le Fusain tache les doigts tandis que les autres constituants les souillent à peine lorsqu'ils sont exempts de Fusain.

4<sup>o</sup> — La *densité apparente* <sup>(1)</sup> du Fusain varie comme sa dureté avec la teneur en substances minérales incluses. Faible dans les variétés peu cendreuses, elle peut être élevée dans certains Fusains fortement imprégnés de Pyrite ou de Carbonates rhomboédriques divers. La présence dans un bloc de houille d'un lit ou d'une lentille de Fusain cendreux suffit souvent pour lui conférer une densité anormale appréciable à la main.

5<sup>o</sup> — Les *modes de gisement* du Fusain se rapportent à trois types qui représentent tous trois des interstratifications dans la masse ou à la limite des autres constituants.

Le plus souvent, le Fusain s'observe en *masses lenticulaires* étalées parallèlement au plan de stratification de la Veine et intercalées dans les lits de houilles semi-brillantes (Pl. XLVI, Fig. 224) ou mates (Pl. XLV, Fig. 222 et 223). Les dimensions de ces masses sont généralement comprises entre quelques centimètres et quelques millimètres de longueur, leur épaisseur restant de l'ordre de quelques millimètres. Leur aspect lenticulaire est surtout visible dans les sections verticales (Pl. XXVII, Fig. 141 à 143), leurs contours étant très irréguliers dans les coupes horizontales (Pl. XXVII, Fig. 139 et 140).

Plus rarement, le Fusain forme *des lits assez épais* intercalés entre deux autres constituants macroscopiques. En général, dans ce cas un simple examen à l'œil nu permet de constater que ces lits sont en réalité formés par des accumulations de masses lenticulaires identiques aux précédentes et cimentées par une pâte peu abondante formant entre elles une fine trame brillante.

Plus fréquemment, l'on rencontre le Fusain à l'état *de lits très minces* à la limite de deux des autres constituants. Ces lits sont formés par des jonchées de très menus fragments de Fusain étalés à la surface des lits de houille mate, semi-brillante ou brillante et constituent des surfaces

(1). Je ne parlerai ici que de *densité apparente*, la *densité réelle* cessant d'être un caractère utilisable dans les déterminations macroscopiques puisque sa connaissance nécessite des opérations et des mesures compliquées.

Pour la définition de ces deux termes voir : LUCIEN CAYEUX. [131] p. 78 et suivantes.

de moindre cohésion suivant lesquelles les fragments de houille se séparent facilement. Ce sont de tels lits très minces qui soulignent l'allure stratifiée de beaucoup d'anthracites français.

Cet ensemble de caractères permet une détermination facile et précise du Fusain.

### B. — Caractères microscopiques du Fusain.

Je me bornerai à rappeler ici que le Fusain représente *un état de fossilisation particulier des tissus ligneux (bois, sclérenchyme) des plantes houillères*, tissus dont la structure peut être parfaitement conservée (Pl. XXIX, Fig. 148, 149) ou plus ou moins détruite (Pl. XXXI, Fig. 157a à 159 et 161) en renvoyant le lecteur aux études de détail qui figurent soit dans le développement relatif aux tissus ligneux (Chapitre VII), soit dans l'explication des planches. Enfin, je rappellerai encore que certains lits de Fusain compacts et très cendreaux possèdent des structures analogues à celles observées dans les lits de carbonate de fer que montrent les figures 304 à 309 (Pl. LXIV) dont ils ne diffèrent que par un nombre plus grand de débris de tissus ligneux.

### C. — Caractères chimiques du Fusain.

Les recherches modernes sont venues confirmer l'opinion de KARSTEN [356], exposée à nouveau par FAYOL en 1887 [225], que *le Fusain est un véritable anthracite particulier dont le pouvoir agglutinant est nul ou en tout cas très faible*.

J'ai montré pour ma part [200 et 202] que dans le bassin houiller du Nord de la France cette absence de pouvoir cokéfiant s'observe aussi bien dans le Fusain des houilles à coke que dans celui des houilles bitumineuses, maigres ou anthraciteuses, et que par conséquent *ce constituant présente dans des gisements différents des caractères constants*.

Le Fusain que l'on rencontre parfois dans les grès et plus rarement dans les schistes est identique à celui des houilles.

Le Fusain est surtout fréquent dans certaines houilles semi-brillantes (Clarains) ne contenant guère que des débris de tissus ligneux (Pl. XLVI, Fig. 224), moins fréquent et surtout moins abondant dans les houilles semi-brillantes (Clarains) à spores ou à cuticules (Pl. XLIII, Fig. 218 et 219, Pl. XLV, Fig. 222 et 223) et dans les houilles mates (Durain) (Pl. XL à XLII, Fig. 208 à 216).

*Détail intéressant à noter, ce constituant totalement dépourvu de pouvoir agglutinant est beaucoup plus fréquent dans nos houilles à coke que dans les houilles anthraciteuses et les houilles bitumineuses qui ne donnent pas de coke aggloméré ou fournissent des coques de qualité médiocre.*

De l'exposé précédent on peut donc conclure que le Fusain est un constituant des houilles parfaitement défini, conservant dans ses différents modes de gisement ses caractères essentiels et que l'on rencontre indifféremment dans toutes les variétés de charbon.

Ces caractères essentiels sont, *au point de vue macroscopique*, son éclat ou mieux son lustre soyeux, fibreux et moiré ; *au point de vue microscopique* sa structure ligneuse particulièrement nette ; *au point de vue chimique* sa pauvreté en matières volatiles et plus encore l'absence totale de pouvoir cokéfiant.

## II

## LES HOUILLES MATES

Les constituants macroscopiques que je réunirai sous ce vocable ont été très anciennement distingués et décrits sous les noms de houille mate compacte (par opposition à houille mate fibreuse = Fusain), de houille terne, de Mattkohle, de Mat coal, de dull coal et plus récemment de Durain, d'Attritus et de Canneloid. Ce sont eux qui, alternant plus ou moins régulièrement avec des lits brillants, donnent aux « Streifenkohle » ou « houilles rayées » (banded-coals) leur aspect caractéristique.

## A. — Caractères macroscopiques des houilles mates.

Les houilles mates sont caractérisées par les propriétés suivantes :

1<sup>o</sup> — L'*absence d'éclat* peut s'observer dans toute leur masse ou au moins dans la majeure partie de leur masse. Dans ce dernier cas, elles peuvent contenir de très minces filets quasi microscopiques à éclat très vif de pâte pure ou des lentilles de Fusain à éclat soyeux. L'aspect terne de l'ensemble permet de les distinguer très facilement des houilles semi-brillantes (Clarains).

2<sup>o</sup> — La *dureté* des houilles mates est sensiblement égale à celle des houilles semi-brillantes (Clarains) ou brillantes (Vitains). C'est en réalité à leur *compacité* et à leur *ténacité*, contrastant avec la fragilité des houilles semi-brillantes et de beaucoup de houilles brillantes, que les lits de houilles mates doivent une apparence de dureté qui a déterminé M<sup>me</sup> STOPES à les désigner par le terme « Durain ».

3<sup>o</sup> — La *poussière* abandonnée sur la porcelaine ou sur les doigts par les fragments de houille mate ne contenant pas de Fusain en masses ou en enduits est très peu abondante. Beaucoup d'entre elles peuvent être facilement manipulées sans laisser de traces sur les mains qui les touchent.

4<sup>o</sup> — La *densité apparente* des houilles mates est généralement plus élevée que celle des houilles semi-brillantes et brillantes, caractère qui s'explique très aisément par le fait qu'elles sont, en règle générale, *beaucoup plus compactes* que ces dernières qui contiennent comme nous le verrons des vides plus ou moins importants.

5<sup>o</sup> — La *cassure normale* des houilles mates est le plus souvent lisse ou légèrement onduleuse, mais peut être également granuleuse. En général, elle provoque la division des lits en blocs parallélépipédiques droits ou obliques. Ces blocs sont compacts et très cohérents, caractères qui paraissent avoir étayé cette idée fausse que les houilles mates (Durain) sont beaucoup plus dures que les houilles semi-brillantes (Clarains) ou brillantes (Vitains).

6<sup>o</sup> — L'*hétérogénéité* des houilles mates s'observe parfaitement sur les échantillons bruts au simple examen à l'œil nu qui ne permet pas, dans la plupart des cas, la détermination des corps figurés, mais révèle la texture complexe du constituant.

7° — *Les modes de gisement des Houilles mates varient non seulement d'une veine de houille à l'autre, mais encore dans une même veine suivant les points considérés, soit sur une horizontale, soit sur une verticale.*

Dans le Nord de la France les houilles mates typiques ne s'observent guère que dans les houilles bitumineuses (bituminous coals.). Ce n'est qu'exceptionnellement qu'on les rencontre dans les houilles à coke (coking coals) et les houilles anthraciteuses (anthracites).

Certaines Veines très riches en matières volatiles sont presque entièrement formées de houille mate constituée par des entrecroisements de lits distincts contenant quelques rares couches des autres constituants.

Dans d'autres Veines la houille mate peut former à elle seule des sillons entiers qui ont été confondus parfois avec des sillons de gayet.

Enfin, le plus souvent, elle se présente en lits minces (quelques millimètres) ou épais (quelques centimètres) alternant avec les houilles semi-brillantes (Clarains) et brillantes (Vit rains).

Quelles que soient leurs dimensions les lits élémentaires de houille mate présentent ce caractère commun d'affecter l'allure de lentilles plus ou moins aplaties, allure qui est nettement visible sur la figure 216 (Pl. XLII).

Le Fusain est relativement rare dans les houilles mates, tandis que les masses de tissus ligneux partiellement (Xylain) ou complètement gélifiés (Xylovitrain) y sont assez fréquentes (Fig. 217, Pl. XLII). Ce sont ces derniers qui forment la plupart des filets de houille brillante que l'on peut y observer à l'œil nu.

Le Fusain peut exister à l'état de revêtements très minces à la surface des lits de houille mate comme du reste à la surface des lits de houilles semi-brillantes et brillantes.

### B. — Caractères microscopiques des houilles mates.

Les lits de houille mate possédant les aspects macroscopiques précédents peuvent présenter des caractères paléontologiques et pétrographiques très différents qui permettent de les classer dans des catégories bien définies et jouant des rôles d'importances très diverses dans la constitution des couches de houille.

α. — *La grande majorité et même la quasi totalité des houilles mates (Durains) sont constituées par de véritables feutrages de microspores cimentées par une pâte peu abondante et contenant des macrospores et des cuticules plus ou moins nombreuses. Les tissus ligneux y sont rares, surtout à l'état de Fusain, le plus souvent ils sont gélifiés et transformés en houille brillante (Xylain et Xylovitrain). Les corps résineux y sont relativement fréquents. La pâte fort peu développée forme des lits minces ou filets lenticulaires qui ne peuvent être distingués des masses ligneuses gélifiées que par un examen très attentif. Les figures 208, 210, 212, 214 à 216 des planches XL à XLII représentent, à faibles grossissements, l'aspect très caractéristique de ces houilles mates dont la plupart des figures des planches I à XI (Figures 1 à 57), pour ne citer que celles là, montrent la structure typique à différents grossissements.*

Dans ce cas, la notion de houille mate (Durain, Attritus) se confond avec celle des charbons de spores des anciens auteurs.

Dans le Nord de la France cette variété de houille mate n'existe que dans les charbons à hautes teneurs en matières volatiles (bituminous coals) où elle est souvent très développée <sup>(1)</sup>.

Par leurs caractères paléontologiques (abondance des spores) et chimiques (richesse en hydrocarbures gazeux et liquides) *ces houilles mates se rapprochent des Cannel-Coals (gayets à spores) et des schistes bitumineux à spores auxquels elles passent du reste latéralement.*

β. — Dans certains lits de houille mate les macrospores peuvent être remplacées par des cuticules qui forment avec d'innombrables microspores des feutrages de débris végétaux pauvres en ciment amorphe. Ce deuxième type de lits de houille mate (Durain) s'observe à faible grossissement sur les figures 222 et 223 (Pl. XLV) et à grossissement moyen sur beaucoup de microphotographies des planches XII à XVIII.

γ. — *Beaucoup plus rarement, l'on observe dans les houilles à coke ou dans les anthracites des lits mats dont l'aspect macroscopique est quasi identique à celui des lits précédents, mais dont les caractères paléontologiques et pétrographiques, révélés seulement par l'étude microscopique, sont nettement différents.*

Ces lits ne contiennent guère comme débris végétaux reconnaissables que des débris de tissus ligneux cimentés par les fines particules argileuses caractéristiques des schistes. (Fig. 280 et 281, Pl. LIX). Fréquemment, les vestiges organisés sont presque complètement défaut, les paillettes d'argile moins nombreuses se trouvant noyées dans la pâte amorphe colloïdale que l'on retrouve dans toutes les houilles (Fig. 282 à 285, Pl. LIX). Par enrichissement en matières argileuses ces houilles passent à des schistes charbonneux à ciment organique tels que ceux représentés par les figures 286 à 289 (Pl. LX).

Par leurs fortes teneurs en matières minérales ces lits ne sont plus à proprement parler des charbons, mais des roches charbonneuses.

Leur similitude d'aspect avec les houilles mates à spores m'obligeait néanmoins à les décrire succinctement à cette place.

### C. — Caractères chimiques des houilles mates.

A l'inverse du Fusain, la houille mate (Durain) n'est jamais un constituant bien défini, car de simples analyses immédiates démontrent qu'il existe, en réalité, *des infinités de houilles mates* dont les compositions chimiques sont comprises entre deux termes extrêmes.

Même si l'on s'en tient au type de houille mate à spores qui est seul très répandu, on constate que l'on peut observer couramment dans le bassin houiller du Nord des variétés dont les teneurs en matières volatiles sont généralement comprises entre 45 % et 26 % de la masse totale sans que leurs caractères lithologiques (abondance des spores etc..) diffèrent sensiblement.

Les cokes obtenus dans les essais de Laboratoire sont très différents et peuvent être pulvérolents (surtout dans les variétés très riches en M. V.), boursofflés, poreux, légers et plus ou

(1). Nous verrons un peu plus loin que les lits possédant les caractères microscopiques cités précédemment s'observent parfois dans les houilles à teneurs en matières volatiles moyennes (h. à coke) ou faibles (anthracites), mais présentent, grâce à la gélification des spores, les caractères macroscopiques des houilles semi-brillantes (Clarains).



moins fragiles. Dans certains cas plus rares, ils peuvent être durs, compacts et se rapprocher des coques de bonne qualité.

En résumé, les houilles mates ou Durains *ne sont bien caractérisées qu'au point de vue macroscopique* où leur aspect terne, leur compacité et leur ténacité permettent de les distinguer facilement. *Au point de vue microscopique*, elles correspondent à différents types pétrographiquement et paléontologiquement distincts qui jouent dans la formation des couches de houille des rôles très inégaux, tandis qu'*au point de vue chimique* il est possible d'y distinguer une infinité de types évidemment apparentés les uns aux autres, mais néanmoins aussi dissemblables que les diverses variétés de houilles qui les renferment.

### III

## LES HOUILLES SEMI-BRILLANTES

Ces houilles sont les équivalents des « houilles moyennes » et des « houilles foliaires » de FAYOL, termes qui sont eux mêmes synonymes du « Clairain » de M<sup>me</sup> STOPES. Ce terme *houille semi-brillante* s'applique dans le Nord de la France à des entités d'aspect bien défini se distinguant nettement, d'une part, des houilles brillantes (h. claires = Vitraires) par leur éclat moins vif et leur mode de gisement et, d'autre part, des houilles mates (h. ternes = Durains) par un éclat beaucoup plus vif très différent du lustre soyeux que présentent parfois ces dernières.

Leur distinction facile dans le cas des charbons à quatre constituants devient plus délicate dans celui des houilles à trois constituants où l'on est toujours tenté de qualifier de houille mate les lits les moins brillants, même lorsqu'ils sont doués d'un éclat assez vif. En réalité, dans ce cas leur détermination devient possible si l'on prend soin de les comparer à des houilles mates typiques choisies comme étalons <sup>(1)</sup>.

#### A. — Caractères macroscopiques des houilles semi-brillantes.

Les houilles semi-brillantes présentent les caractères suivants :

1<sup>o</sup> — Leur *éclat* toujours appréciable et parfois assez vif n'est jamais vitreux, la cassure chagrinée du constituant en rapport avec sa structure hétérogène multipliant les petites surfaces réfléchissantes et lui donnant un aspect tout différent de l'éclat des houilles brillantes.

2<sup>o</sup> — La *dureté* de la substance même des houilles semi-brillantes est sensiblement la même que celles des houilles mates ou brillantes. La fréquence dans certaines houilles semi-brillantes de très nombreux lits ou fragments de Fusain ou le développement dans certains autres de fréquentes fentes de retrait peuvent déterminer une certaine *fragilité* de l'ensemble qui n'a rien à voir avec la dureté de la substance elle-même.

(1). Dans la grande majorité des houilles à trois constituants macroscopiques, les *houilles mates* font généralement défaut, le constituant à éclat moins vif étant presque toujours la *houille semi-brillante*.

3° — La *poussière* des houilles semi-brillantes n'est pas plus que pour les houilles mates un caractère essentiel. La substance même des houilles semi-brillantes, comme celle des houilles mates, est compacte et assez dure pour n'abandonner que des traces de poussière insignifiantes. Par contre, la présence en assez grande abondance dans certaines houilles semi-brillantes de lentilles ou de lits de Fusain peut les rendre très poussiéreuses, caractère accessoire qui tend à les faire considérer comme très fragiles et très tendres.

4° — La *densité apparente* des houilles semi-brillantes est généralement plus faible que celle des houilles mates, ces dernières étant plus compactes, tandis que les premières contiennent fréquemment des vides de retrait parfois assez importants et observables à l'œil nu. Ces vides de retrait confèrent aux lits de houille semi-brillante une *fragilité* que l'on a souvent considérée à tort comme l'indice d'une dureté faible.

5° — La *cassure normale* des houilles semi-brillantes est chagrinée, irrégulière et déterminée par l'hétérogénéité du constituant. Les vides de retrait qui sont souvent assez importants provoquent la division en blocs beaucoup plus irréguliers que les gaillettes de houilles mates et présentant fréquemment des aspérités plus ou moins prononcées.

6° — L'*hétérogénéité* des houilles semi-brillantes est un caractère observable à l'œil nu, même sur les échantillons bruts. La distinction des corps organisés n'est pas toujours possible dans ces conditions, mais la structure complexe du constituant n'échappe pas à un examen attentif. *Ce caractère distingue nettement les houilles semi-brillantes des houilles brillantes.*

7° — Les *modes de gisement* des houilles semi-brillantes sont exactement les mêmes que ceux des houilles mates, à ces différences près que certaines houilles semi-brillantes (h. s. brillantes des houilles à coke) sont souvent très riches en Fusain et qu'on peut observer normalement des lits de houille semi-brillante dans tous les types de charbons paléozoïques (charbons bitumineux, charbons à coke, charbons anthraciteux, anthracites).

## B. — Caractères microscopiques des houilles semi-brillantes.

Les houilles semi-brillantes qui répondent toutes aux descriptions macroscopiques précédentes présentent des caractères paléontologiques et lithologiques très différents qui permettent de les classer en plusieurs catégories nettement distinctes.

Suivant la nature des débris végétaux dominants on peut distinguer :

$\alpha$  — Les houilles semi-brillantes à spores ou à cuticules.

$\beta$  — Les houilles semi-brillantes à tissus ligneux.

$\alpha$  — *Houilles semi-brillantes à spores ou à cuticules.*

Dans les charbons de cutine l'on rencontre couramment des lits de houille semi-brillante de deux types différents caractérisés soit par les macrospores, soit par les cuticules. Chacun de ces deux types peut également être subdivisé en deux groupes d'importance très différente.

*a* — Le type de beaucoup le plus fréquent est caractérisé par la *prédominance de la pâte amorphe colloïdale* et la *présence de nombreuses microspores accompagnées ou non de macrospores et de cuticules associées ou isolées*.

Ce type est extrêmement fréquent dans les houilles à hautes teneurs en Matières volatiles (bituminous coals) et est représenté à faibles grossissements par les figures 218 à 221 (Pl. XLIII et XLIV). La plupart des charbons de cuticules sont constitués par des lits de houilles semi-brillantes observables sur la majorité des figures 58 à 97 (Pl. XII à XVIII) à des grossissements variables. Beaucoup de charbons de spores contiennent également, à côté des lits de houilles mates, des couches de houilles semi-brillantes dont les figures 13 et 14 (Pl. III et IV), 20, 22, 23 (Pl. V), 25, 26, 27 (Pl. VI), 28, 29, 30, (Pl. VII), 37, 38, 39, 43 et 44 (Pl. VIII) etc... donnent d'excellents types vus à grossissements moyens ou forts.

Par *enrichissement en spores ou en cuticules et appauvrissement en pâte amorphe colloïdale*, ces houilles semi-brillantes passent insensiblement aux houilles mates (des types  $\alpha$  et  $\beta$ ) et perdent progressivement la vivacité de leur éclat. Les figures 27 (Pl. VI) 46, 47 et 48 (Pl. IX) montrent le passage progressif des houilles mates aux houilles semi-brillantes et de celles-ci aux houilles brillantes.

*b* — Un type plus rare que le précédent se rencontre également dans les houilles bitumineuses et exceptionnellement dans le Nord de la France parmi les houilles à coke et les houilles anthraciteuses. Comme les houilles mates il est caractérisé par la *réduction de la pâte*, mais s'en distingue par *une altération des innombrables spores* qui semblent avoir perdu au cours de processus de fossilisation particuliers (gélification) la faculté de donner aux lits qui les renferment un aspect mat. C'est ainsi que beaucoup de lits élémentaires des figures 218, 219 (Pl. XLIII) et 266 (Pl. LVI), doués d'un certain éclat, contiennent sensiblement les mêmes quantités de spores que ceux de la figure 216 (Pl. XLII) qui en sont totalement dépourvus lorsque l'on examine à l'œil nu les échantillons bruts de ces différents charbons. Les figures 49, 50 (Pl. X) et 245 (Pl. L) présentent les aspects typiques de ces lits particuliers à grossissements moyens.

La gélification des spores semble donc jouer le même rôle que la prédominance de la pâte et déterminer le développement d'un éclat appréciable.

Généralement, ces houilles semi-brillantes à spores et à cuticules sont compactes et pauvres en vides de retrait. Cependant les figures 221 (Pl. XLIV) et 266 (Pl. LVI) montrent un bel exemple des aspects particuliers de ces vides.

C'est vraisemblablement à ce type qu'appartiennent les houilles américaines riches en spores décrites par M. THIESSEN.

#### $\beta$ — Houilles semi-brillantes à tissus ligneux.

On peut les diviser suivant le même principe que les précédentes, en deux types distincts et d'importances inégales.

*a* — La plupart de ces lits sont constitués par une *pâte très abondante* souvent prédominante, enrobant de *nombreux fragments de tissus ligneux* stratifiés dans leur masse. Ces débris peu-

vent être, soit à l'état de Fusain, soit sous forme de fragments de bois ou de sclérenchyme partiellement (Xylain) ou complètement (Xylovitrain) gélifiés.

La figure 224 (Pl. XLVI) montre l'aspect typique de la variété riche en Fusain que l'on n'observe guère que dans les houilles à coke et la figure 227 (Pl. XLVII) l'allure des lits à tissus ligneux gélifiés surtout fréquents dans les anthracites et les houilles anthraciteuses.

*b* — Dans certains lits de houilles semi-brillantes le ciment peu développé contient de très nombreux débris de tissus ligneux gélifiés toujours nettement étalés parallèlement au plan de stratification de la veine.

On rencontre de tels lits dans les houilles à coke (Pl. XLVI, Fig. 225) et dans les anthracites (Pl. XLVII, Fig. 226) et plus rarement dans les houilles bitumineuses (Pl. XLII, Fig. 217).

Lorsque les tissus ligneux sont peu nombreux et très gélifiés (Pl. XLVII, Fig. 227) l'aspect macroscopique de ces lits peut être quasi identique à celui des houilles brillantes.

Dans ces lits de houilles semi-brillantes à tissus ligneux l'on remarque fréquemment d'importants vides de retrait sous forme de fentes verticales, perpendiculaires au plan de stratification (Pl. XLVI, Fig. 224), accompagnées parfois de fentes horizontales (Pl. XLVII, Fig. 227).

Comme on le voit par l'exposé précédent, les éclats particuliers des houilles semi-brillantes et leur aspect hétérogène s'expliquent par les caractères lithologiques ou paléontologiques; caractères qui consistent dans le grand développement de leur ciment ou à son défaut dans la gélification des corps figurés (spores, cuticules et tissus ligneux) qu'ils contiennent alors en grande abondance.

Par contre, ces aspects macroscopiques sont indépendants de la nature des substances végétales originelles qui les caractérisent.

### C. — Caractères chimiques des houilles semi-brillantes.

Les différents types de houilles semi-brillantes que je viens de définir par leurs caractères microscopiques, qu'il est souvent difficile de discerner les uns des autres à l'œil nu, présentent des compositions et des propriétés très différentes qui permettent de les classer à peu près de la même façon qu'au point de vue lithologique.

Les lits de houilles semi-brillantes à spores ou cuticules bien conservées et à pâte abondante ne se rencontrent guère, comme les lits de houilles mates à spores, que dans les houilles bitumineuses et peuvent contenir normalement des teneurs en matières volatiles comprises entre 45 et 26 %. Ils fournissent des coques pulvérulents ou fragiles et boursoufflés et plus rarement des coques sonores et cohérents.

Les lits de houilles semi-brillantes à spores nombreuses gélifiées et à pâte réduite se rencontrent indifféremment dans les houilles bitumineuses (26 % < M. V. < 45 %) dans les houilles à coke (18 % < M. V. < 26 %) et dans les houilles anthraciteuses (M. V. < 18 %) et présentent alors dans chaque cas les compositions chimiques et les propriétés techniques des veines de houille qui les contiennent.

Les lits de houilles semi-brillantes riches en pâte et en Fusain comme ceux très riches en tissus

*ligneux gélifiés et pauvres en pâte* (Pl. XLVI, Fig. 224 et 225) s'observent surtout dans les houilles à coke dont ils possèdent les propriétés. Les lits de ce deuxième type, que l'on rencontre accidentellement dans les charbons de spores, sont moins riches en matières volatiles que les couches adjacentes riches en spores (Pl. XLII, Fig. 216 et 217).

Les lits de houilles semi-brillantes *à la fois riches en pâte et en tissus ligneux très gélifiés* n'existent guère que dans les houilles maigres, les houilles anthraciteuses et les anthracites et possèdent tous les caractères et les propriétés chimiques de ces combustibles pauvres en matières volatiles.

En résumé, les houilles semi-brillantes ou Clarains *ne sont bien caractérisées qu'au point de vue macroscopique*, grâce à leur éclat et à leur hétérogénéité elles peuvent être distinguées des houilles mates et des houilles brillantes. *Au point de vue microscopique*, elles correspondent à plusieurs types caractérisés, du reste, comme les houilles qui les contiennent par des débris végétaux différents et le plus souvent par un assez grand développement du ciment amorphe colloïdal qui enrobe ces débris. *Au point de vue chimique*, elles sont encore moins bien définies qu'au point de vue pétrographique en ce sens que chaque type lithologique peut posséder toutes les compositions chimiques comprises entre deux variétés extrêmes. En règle générale, la composition chimique d'un lit de houille semi-brillante s'identifie avec celle du type de houille qui constitue la veine entière. Il existe donc des houilles semi-brillantes à peu près semblables, quant à leur aspect extérieur, mais qui présentent respectivement les compositions chimiques des houilles bitumineuses, des houilles à coke, des houilles maigres et des anthracites.

## IV

### LES HOUILLES BRILLANTES

J'emploierai désormais ce terme pour désigner les constituants macroscopiques des houilles appelés « houille claire » par FAYOL et « Vitrain » par M<sup>me</sup> STOPES, constituants dont les aspects sont suffisamment dissemblables de ceux des houilles semi-brillantes (Clarains) pour qu'il soit nécessaire de les distinguer. Nous verrons du reste que cette distinction se trouve pleinement justifiée par des différences essentielles dans les caractères microscopiques de ces deux types de houilles douées d'un certain éclat.

#### A. — Caractères macroscopiques des houilles brillantes.

La détermination des houilles brillantes est relativement facile, leur éclat très vif et leur structure homogène permettant de les reconnaître rapidement et de les distinguer des houilles semi-brillantes.

Leurs caractères déterminables à l'œil nu sont les suivants :

1<sup>o</sup> — Leur *éclat* très vif, nettement vitreux, rappelant celui du jais permet de les distinguer des houilles semi-brillantes.

2° — La *dureté* de la substance même des houilles brillantes est sensiblement la même que celles des substances constitutives des houilles mates (Durains) et semi-brillantes (Clarains). Comme pour ces dernières, la *grande fragilité* due à la présence de nombreux vides de retrait a été souvent considérée à tort comme un indice d'une dureté inférieure à celle des houilles mates.

3° — La *poussière* des houilles brillantes pas plus que celles des houilles mates et semi-brillantes n'est caractéristique de ce constituant, la présence de poussière étant le plus souvent liée à l'existence de masses ou d'enduits de Fusain.

4° — La *densité apparente* de beaucoup de houilles brillantes est généralement plus faible que celle des houilles semi-brillantes et surtout des houilles mates, fait facilement explicable par les vides de retrait plus volumineux qu'elles renferment. En raison de la faible épaisseur des lits de houille brillante, ce caractère n'est appréciable que dans les fragments de charbon qui sont formés d'un grand nombre de ces lits superposés.

5° — La *cassure normale* des houilles brillantes est nettement conchoïdale et très homogène. Sauf dans le cas où elle se trouve masquée par une cassure particulière en rapport avec la schistosité de la roche, elle peut être considérée comme caractéristique de ce constituant.

6° — L'*homogénéité* des houilles brillantes est un de leurs caractères les plus typiques qui ajouté à leur éclat particulier permet de les distinguer facilement des houilles semi-brillantes (Clarains). L'absence ou du moins l'extrême rareté des débris organisés ou des structures végétales peut presque toujours être constatée par un simple examen à l'œil nu.

7° — Les *vides de retrait*, le plus souvent verticaux et perpendiculaires au plan de stratification, sont généralement très fréquents dans les houilles brillantes dont la masse est souvent divisée, de ce fait, en piliers séparés par de larges espaces bien visibles à l'œil nu. Elles ont alors tendance à se fractionner sous le choc en petits fragments cubiques ou parallélépipédiques dont les dimensions en tous sens sont sensiblement égales à celles des lits eux-mêmes (quelques millimètres). Bien que surtout présents dans les houilles brillantes, ces vides de retrait n'en sont pas néanmoins caractéristiques, car ils peuvent s'observer assez fréquemment dans les houilles semi-brillantes et plus rarement dans les houilles mates.

8° — Les *modes de gisement* des houilles brillantes sont sensiblement différents de ceux des houilles mates et semi-brillantes.

En règle générale, les lits de houilles brillantes sont à la fois *très minces* (quelques millimètres) et *très étendus* (une dizaine de mètres et parfois plus) bien que possédant toujours une allure lenticulaire mise en évidence par leur terminaison en pointe. Ce n'est qu'exceptionnellement que de tels lits dépassent *un centimètre* d'épaisseur, ceux qui atteignent *cinq millimètres* étant eux-mêmes assez rares.

Dans les houilles mates on observe assez souvent *des minces filets* de houille brillante, et des *masses lenticulaires* de ce même constituant rappelant par leur allure et leurs dimensions les fragments de Fusain, filets et masses qui dérivent, comme nous le verrons, de tissus ligneux gélifiés.

Les houilles brillantes se rencontrent indifféremment dans les charbons bitumineux (bituminous coals), dans les charbons à coke (coking coals) et dans les houilles maigres et anthraciteuses (anthracites). Ces dernières peuvent être formées par la superposition de tels lits à éclat très vif, séparés seulement par de minces enduits de Fusain.

### B. — Caractères microscopiques des houilles brillantes.

Au point de vue morphologique pur on peut distinguer au microscope trois types de houilles brillantes d'origines très diverses :

$\alpha$ . — Les lits les plus nombreux répondent exactement à la notion de Vitrain de STOPES quant à leur aspect macroscopique et apparaissent à l'œil nu sous forme de couches très minces (quelques millimètres), le plus souvent assez étendues (quelques mètres).

La grande majorité de ces lits sont entièrement constitués par le ciment amorphe colloïdal que l'on observe dans les couches adjacentes de houilles mates et de houilles semi-brillantes. Ils ne contiennent alors aucun débris végétal organisé discernable aux plus forts grossissements (1000 et 2.000 diamètres). Les figures 18, 19, (Pl. V), 45, 46 (Pl. IX), 123, (Pl. XXIV), 147, (Pl. XXVIII), 212 (Pl. XL), 216 (Pl. XLII), 222, 223, (Pl. XLV), 266, 267, 268, 269, 270, (Pl. LVI), 290, (Pl. LXI) etc... représentent dans leurs parties marquées Hb les lits de ce type où les vides de retrait sont généralement très développés.

La plupart des minces filets de houilles brillantes visibles en section verticale et apparaissant en coupe horizontale sous forme de plages irrégulières (Fig. 208 et 210, Pl. XL, P, Fig. 214 et 215, Pl. XLI) sont constitués par des amas de pâte pure et ne diffèrent des lits précédents que par leur taille.

M<sup>me</sup> STOPES estimait que seuls les lits complètement dépourvus de débris végétaux devaient être rangés parmi le vrai Vitrain <sup>(1)</sup>. Tout en reconnaissant qu'il en est le plus souvent ainsi, l'on doit admettre aujourd'hui que certains lits particulièrement pauvres en corps figurés ou débris végétaux ne peuvent être distingués à l'œil nu des précédents. Les figures 21, 23 (Pl. V), 48 (Pl. IX), 124, 125 (Pl. XXIV) et 147 (Pl. XXVIII) représentent de tels lits où l'on peut observer des macrospores isolées, des traînées de microspores, des corps résineux ou quelques débris de tissus ligneux stratifiés dans une pâte très abondante.

$\beta$  — Dans les houilles mates et plus rarement dans les houilles semi-brillantes, les houilles brillantes peuvent exister sous forme de masses lenticulaires rappelant par leur allure celle de beaucoup de fragments de Fusain. Ces masses affectent la forme de lames plus ou moins étendues (Tl, Fig. 108 et 109, Pl. XXI), parfois onduleuses (Tl<sub>1</sub> à Tl<sub>6</sub>, Fig. 194, Pl. XXXVII), de lentilles renflées ou aplaties (Tl, Fig. 201 et 202, Pl. XXXVIII) et plus rarement de lames se terminant en biseau (Tl, Tl<sub>1</sub>, Fig. 196 et 197, Pl. XXXVII). Elles sont surtout bien visibles dans les houilles mates (Fig. 196 et 197), mais s'observent encore dans les houilles semi-brillantes (Fig. 195) où leur teinte plus claire les différencie nettement de la pâte adjacente.

(1). Dans son article « Remarks on Vitrain » ([609] p. 23, 2<sup>e</sup> colonne) M<sup>me</sup> STOPES a écrit « nothing can correctly or justifiably be called vitrain which contains recognisable plant structure ».

Ce type de houilles brillantes peut être formé par une substance complètement amorphe (Tl, Fig. 195, Tl<sub>1</sub>, Fig. 196, Pl. XXXVII), ou présenter des vestiges plus ou moins nets de structure cellulaire (Tl, Fig. 196 et 197, Pl. XXXVII ; Fig. 198 à 200, Pl. XXXVIII). Son origine ligneuse n'est pas douteuse dans la plupart des cas. Ce sont ces houilles brillantes particulières que j'ai décrites antérieurement [183] sous les noms de Xylain (tissus ligneux partiellement gélifiés) et de Xylovitrain (tissus ligneux complètement gélifiés).

Plus rarement, des masses de tissus sécréteurs (corps résineux) peuvent donner naissance à des plages ou à des masses lenticulaires de houille brillante.

Ces tissus ligneux gélifiés existent dans les houilles mates à l'état de menus fragments irréguliers en sections horizontales et de minces filets en sections verticales. Ce sont les seules houilles brillantes d'origine ligneuse que l'on rencontre dans les charbons où elles s'identifient avec les houilles claires de FAYOL, l'anhraxylon de THIESSEN, le Lignitoid de JEFFREY et les Provirit et Euvirrit des auteurs allemands, ces deux derniers termes étant respectivement synonymes de Xylain et de Xylovitrain.

$\gamma$  — Dans certaines houilles mates ou semi-brillantes il existe des filets de houille brillante parfois assez épais qui ont des origines toutes différentes. Ils correspondent aux masses de tissus internes gélifiés de certaines feuilles et apparaissent alors sous forme de minces bandes brillantes en sections verticales (Fig. 58, 59, 60, 61, Pl. XII ; 74, 76, Pl. XIV) et de plages à contours plus ou moins réguliers en sections horizontales (Fig. 68, 69, 70, 71, Pl. XIII). Même dans les sections verticales ces lits brillants peuvent être assez épais comme celui de la figure 75 (Pl. XIV) dont la hauteur atteint presque deux millimètres.

La présence de cuticules, les limitant de toutes parts, permet de distinguer facilement ces lits ou filets de houille brillante particuliers de ceux des deux autres types.

Une étude microscopique attentive montre donc que les lits et filets de houille brillante peuvent avoir trois origines bien distinctes :

*a* — La plupart d'entre eux ( $\alpha$ ) sont comme la dopplérite des *formations de précipitation chimique* et leur structure amorphe est originelle.

*b* — D'autres ( $\beta$ ) dérivent de la *gélification* de tissus ligneux (bois, sclérenchyme) et plus rarement de tissus sécréteurs (corps résineux).

*c* — D'autres enfin ( $\gamma$ ) proviennent de la *gélification des tissus internes complexes de certaines feuilles*.

Comme on le voit, des aspects macroscopiques identiques peuvent correspondre à des substances d'origines très diverses.

### C. — Caractères chimiques des houilles brillantes.

L'étude des houilles brillantes a porté surtout sur les lits les plus épais (au moins quelques millimètres) et d'une certaine étendue appartenant presque tous au type pétrographique  $\alpha$



(lits formés par précipitation chimique) qui est du reste de beaucoup le plus répandu. Les lits et filets très minces ne se prêtent guère à des études de ce genre, car il est quasi impossible de les séparer de leur gangue. Cette étude a donc porté presque exclusivement sur les lits de houille brillante amorphe de précipitation chimique que M<sup>me</sup> STOPES a désignés sous le nom de Vitrain.

Toutes les analyses ou études chimiques concernant les constituants macroscopiques des houilles, exécutées à ce jour, sont d'accord pour prouver que sous des aspects extérieurs quasi identiques *les lits de houilles brillantes possèdent dans chaque type de charbon les caractères et les propriétés chimiques particulières à chacun de ces types*. Autrement dit, dans une houille donnée les lits de houille brillante révèlent des compositions chimiques sinon identiques du moins très voisines de celles des houilles mates (Durains) ou semi-brillantes (Clarains) adjacentes. Il existe des lits de houilles brillantes (Vittrains) présentant toutes les teneurs en matières volatiles que l'on observe parmi les veines de houilles du gisement *et ces teneurs sont toujours en rapport avec celles que l'on remarque dans les houilles mates (Durains) ou semi-brillantes (Clarains) qui leur sont associées*. Ces mêmes lits de houille brillante *donnent suivant les cas des résidus de coke pulvérulents et non cohérents* (houille brillante des anthracites et plus rarement des houilles bitumineuses très riches en M. V.) ; *durs, sonores et cohérents*, (houilles brillantes des charbons à coke) ; *boursofflés, surbaissés et fragiles* (houilles brillantes des charbons bitumineux).

Ces observations viennent infirmer l'opinion maintes fois publiée que « le pouvoir cokéfiant du Vitrain est exceptionnel », elles montrent que cette idée est exprimée de façon trop générale et qu'en réalité il convient de l'énoncer de la façon suivante, beaucoup plus restrictive, que « *le pouvoir cokéfiant de certains Vittrains est exceptionnel* ».

La justesse de cette opinion se trouve démontrée par le fait que beaucoup d'Anthracites, totalement dépourvus de pouvoir cokéfiant, sont pratiquement formés de lits de houille brillante superposés et séparés seulement par de minces enduits de Fusain n'entrant que pour un très faible pourcentage dans la constitution de la masse.

Il est donc bien évident que les substances colloïdales amorphes des houilles qui forment à elles seules toute la masse de la plupart des lits de houilles brillantes (Vittrains) et une partie de la pâte des houilles semi-brillantes (Clarains) et mates (Durains) présentent des variations de composition chimique en rapport avec celles qu'indique l'étude d'ensemble des veines de houille qui les contiennent.

En résumé, toutes les houilles brillantes *ne sont nettement caractérisées qu'au point de vue macroscopique*, leur éclat très vif, vitreux ainsi que leur structure amorphe et leur mode de gisement permettant de les déterminer très facilement. Par contre, l'étude de leurs *caractères microscopiques* montre que des lits d'apparences très voisines, et que l'on ne peut distinguer à l'œil nu que grâce à une très longue habitude, peuvent avoir des origines très différentes (précipitation chimique de substances dissoutes, gélification de masses ligneuses ou résineuses, gélification des tissus internes des feuilles). Au *point de vue chimique* les dites houilles brillantes sont encore plus mal définies qu'au point de vue lithologique, puisqu'elles peuvent présenter les compositions chimiques et les caractères des veines de houille qui les contiennent, et que dans bien des cas elles ne diffèrent pas essentiellement des houilles mates et des houilles semi-brillantes qui leur sont associées.

### Conclusions du Chapitre quinzième.

De l'étude morphologique et chimique des quatre constituants des houilles que je viens d'exposer, on peut tirer les conclusions suivantes :

1<sup>o</sup> — Des quatre constituants macroscopiques des houilles le *Fusain* est le seul à posséder, tant au point de vue macroscopique qu'au point de vue microscopique et chimique, des caractères constants. Il s'observe identique à lui-même dans toutes les variétés de houille et, à l'inverse des autres constituants, *représente un composant parfaitement défini*.

2<sup>o</sup> — Les trois autres constituants : houille mate (Durain), houille semi-brillante (Clairain) et houille brillante (Vitrain) *ne correspondent qu'à des aspects physiques particuliers* de lits qui peuvent posséder des caractères paléontologiques, lithologiques et chimiques très différents ; de sorte qu'il convient d'envisager l'existence d'infinités de houilles mates, de houilles semi-brillantes et de houilles brillantes.

3<sup>o</sup> — Les imprécisions que les auteurs des nomenclatures récentes ont reprochées aux anciens termes *sont, en réalité, inhérentes à la nature même des constituants macroscopiques*, de sorte que les nouveaux termes proposés ne sont pas plus précis que ceux du langage courant dont les appellations ont du moins l'avantage d'être connues de tous.

---

## CHAPITRE SEIZIÈME

# Les constituants macroscopiques envisagés au point de vue des traitements industriels des houilles.

### SOMMAIRE

- I. — ÉTUDE COMPARATIVE DES DIFFÉRENTS CONSTITUANTS PRÉLEVÉS CÔTE A CÔTE DANS UNE MÊME VEINE DE HOUILLE.  
Les compositions chimiques des constituants macroscopiques des houilles anglaises, belges et françaises.
- II. — ÉTUDE COMPARATIVE DES VARIATIONS DE COMPOSITIONS CHIMIQUES DE CHAQUE CONSTITUANT PRÉLEVÉ EN DIFFÉRENTS POINTS D'UNE MÊME VEINE OU D'UN GISEMENT.  
Variations des compositions chimiques des constituants des houilles écossaises, françaises et sarroises.
- III. — INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS PRÉCÉDENTS.  
A. Nature anthraciteuse du Fusain. — B. Quasi identité des houilles brillantes, semi-brillantes et mates associées dans une houille donnée. — C. Rapport existant entre les teneurs en matières volatiles de certaines houilles brillantes (Vitrain) et leurs indices de gonflement élevés.
- IV. — COORDINATION DES RECHERCHES CHIMIQUES ET MICROSCOPIQUES.  
Explication des rôles joués dans la cokéfaction par les substances amorphes et les débris organisés des houilles.
- V. — CONCLUSIONS PRATIQUES.

Le mémoire de M<sup>me</sup> STOPES [608] sur les constituants macroscopiques des houilles a largement contribué à répandre l'idée qu'il était désormais possible, sans avoir recours à aucun examen microscopique, de séparer de la masse des charbons des composants parfaitement définis susceptibles de servir de matières premières à certaines recherches, en particulier à celles d'ordre chimique ayant souvent pour but la mise au point des techniques industrielles.

Or, les principaux résultats des recherches microscopiques qui ont permis de mettre en évidence les caractères lithologiques des houilles, qui étaient à peu près inconnus au moment où M<sup>me</sup> STOPES a proposé sa nouvelle terminologie, ont montré depuis que cette idée était, en réalité, trop simpliste.

Ainsi le problème apparaît délicat et les généralisations hâtives dangereuses. Il est donc bon pour tenter de résoudre certaines difficultés de se livrer à *une étude comparative des constituants macroscopiques des houilles* qui viendra naturellement compléter l'étude descriptive qui a fait l'objet du chapitre précédent.

Dans cette étude comparative je ferai non seulement appel à mes observations personnelles, mais encore et surtout aux nombreuses publications qui ont paru sur ce sujet. Il me sera ainsi possible de montrer quel parti l'on peut tirer, au point de vue technique, de la connaissance des constituants macroscopiques des houilles.

## I

### Étude comparative des différents constituants prélevés côte à côte dans une même veine de houille

Lorsque l'on désire faire une étude comparative des divers constituants macroscopiques des charbons, *il ne peut être question de soumettre à l'analyse chimique que des prises d'essais effectuées côte à côte dans les lits élémentaires adjacents d'un même bloc de houille*. En effet, la comparaison de différents constituants prélevés en divers points d'une même veine n'a guère d'intérêt, car les variations de compositions chimiques observées peuvent alors n'être l'expression que de ces faits bien connus et maintes fois signalés qui consistent en des modifications des caractères d'une même veine, soit dans le sens vertical, soit dans le sens horizontal <sup>(1)</sup>.

Dans ce domaine HENRY FAYOL fut un véritable précurseur, car avec les moyens d'investigation limités dont il disposait il est arrivé dès 1887 à définir exactement les constituants macroscopiques des houilles de Commentry et à mettre en évidence les différences qui existent réellement entre eux. Ses conclusions sont quasi identiques à celles des auteurs anglais qui ont étudié la houille de la « Hamstead Colliery », comme le lecteur pourra s'en convaincre en consultant le chapitre III du Mémoire sur le Bassin houiller de Commentry [225] et les nombreux tableaux qui y figurent.

#### A. — Constituants macroscopiques de la houille de la Hamstead Colliery

Ce sont les houilles de ce charbonnage du Warwickshire qui ont été examinées par M<sup>me</sup> STOPES et qui lui ont servi à définir les constituants macroscopiques des charbons. Ces constituants ont été étudiés au point de vue chimique par M. M. TIDESWELL ET WHEELER <sup>(2)</sup>, puis par M. LESSING <sup>(3)</sup>. D'après ces auteurs les divers constituants macroscopiques d'une des veines de ce gisement présentent les compositions chimiques résumées dans une partie du tableau figurant sur la planche A du texte (p. 317).

Les résultats publiés <sup>(4)</sup> n'attestent de différences importantes qu'entre le Fusain et les trois autres constituants macroscopiques.

Le Fusain relativement pauvre en matières volatiles (22,60 %) contient une forte proportion de cendres (10 %) et ne donne pas de coke cohérent. Sa teneur en carbone est élevée (84,70 %), tandis que ses pourcentages en hydrogène et en oxygène sont assez faibles (respectivement 3,90 et 9,70 %).

(1). Voir à ce sujet : CH. BARROIS, [24]. STRAHAN et POLLARD [622]. P. GÉNY [254].

(2). F. V. TIDESWELL et R. V. WHEELER. — *Trans. chem. Soc.*, 1919, p. 115, 619, 636.

(3). LESSING. — *Trans. chem. soc.*, 1920, 117, 247, 265.

(4). Les résultats des auteurs anglais ont été coordonnés par l'un d'entre eux dans la traduction anglaise du mémoire de M. DE BOOSÉ [105], *Fuel*, p. 525, col. 2.

Quant aux trois autres constituants macroscopiques (houille brillante = Vitrain; houille semi-brillante = Clarain; houille mate = Durain) les résultats cités mettent en évidence beaucoup plus d'analogies que de différences entre leurs compositions chimiques. Leurs teneurs en matières volatiles respectives (38,60 : 40,80 : 39,40 %) sont très voisines comme du reste leurs pourcentages en carbone (78,50 : 79,10 : 80,80 %), en hydrogène (5,15 : 5,20 : 5,10 %), en oxygène (13,90 : 13,40 : 11,80 %), en azote (1,33 : 1,28 : 1,30 %) et en soufre (1,12 : 1,02 : 1 %). Leurs rapports carbone hydrogène sont extrêmement voisins (15,2 : 15,2 : 15,8) et diffèrent de celui du Fusain (21,7).

Les seules différences importantes portent sur les qualités des coques obtenus qui sont fragiles et très boursoufflés pour la houille brillante, fondus et peu boursoufflés pour la houille semi-brillante, non fondus et peu agglomérés pour la houille mate.

Quelques différences ont, en outre, été signalées dans la composition chimique des cendres.

### **B. — Constituants macroscopiques de la houille de la East Kirkby Colliery**

Cette houille du Nottinghamshire a été étudiée par M. M. BARANOV ET FRANCIS [9] dont les résultats d'ensemble figurent dans le tableau de la planche A (p. 317).

Ces analyses donnent lieu aux mêmes remarques que les précédentes. Seul le Fusain se distingue nettement des autres constituants par des pourcentages de matières volatiles (20,30 %), d'hydrogène (3,84 %) et d'oxygène (7,18 %) plus faibles, des teneurs en cendres (13,80 %) et en carbone (87,21 %) plus élevées et par le fait qu'il donne à la cokéfaction un résidu pulvérulent.

Au contraire, les houilles brillantes (Vitrain) semi-brillante (Clarain) et mate (Durain) présentent des compositions chimiques très voisines. Leurs teneurs en matières volatiles (33,00 : 33,20 : 34,50 %), en carbone (80,46 : 80,48 : 80,77 %), en hydrogène (5,33 : 5,32 : 4,84 %), en oxygène (11,50 : 11,85 : 12,36 %), en azote (1,29 : 1,06 : 1,03 %) et en soufre (1,42 : 1,29 : 1,00 %) sont de même ordre ainsi que leur rapport C/H (15,09 : 15,12 : 16,68).

Les seules différences s'observent dans les qualités des coques qui sont très boursoufflés et fragiles pour la houille brillante, peu boursoufflés, durs et denses pour la houille semi-brillante, pulvérulents pour la houille mate.

### **C. — Constituants macroscopiques de houilles du Derbyshire, du Durham, du Lancashire et du Yorkshire**

A l'inverse des études précédentes les recherches de M. A. V. HENDRICKSON [307 et 308] ont porté sur des houilles provenant de plusieurs veines différentes et ont abouti à la conclusion nettement exprimée, que les constituants macroscopiques des houilles autres que le Fusain présentent beaucoup plus d'analogies que de différences quant à leurs compositions chimiques.

Ces analogies sont mises en évidence par le tableau VII qui montre la quasi identité des houilles brillante (Vitrain), semi-brillante (Clarain) et mate (Durain) prélevées côte à côte dans une même veine de houille.

**TABLEAU VII**  
**COMPOSITIONS CHIMIQUES DES CONSTITUANTS MACROSCOPIQUES <sup>(1)</sup>**  
*(d'après Hendrickson)*

CONSTITUANTS MACROSCOPIQUES	Mat. Vol.	Carb. fixe	Pouvoir Calorifique	Carbone	Hydrogène	Oxygène	Azote	Soufre	Rapport C/H	Rapport C.F./M.V. <sup>(2)</sup>	O/0 de gaz dans les Mat. Vol.	Pouvoir calorifique des mat. vol.
Houille brillante (Vitrain)	33,70	66,30	14,763	81,72	5,38	10,27	1,56	1,06	15,19	1,97	52,50	15,280
Houille semi-brillante (Clarain)	37,70	62,30	14,593	80,30	5,04	11,82	1,56	1,28	15,93	1,66	51,50	14,473
Houille mate (Durain)	36,90	63,10	14,848	81,10	4,78	11,52	1,42	1,17	16,96	1,71	50,50	15,543

M. HENDRICKSON a pu ainsi énoncer la conclusion très importante qu'on ne peut attribuer aucun caractère précis à un quelconque des constituants macroscopiques d'une houille rayée sans tenir compte de son origine <sup>(3)</sup>.

#### D. — Constituants macroscopiques de houilles du Fifeshire (Écosse)

L'on doit à M. JAMES COOPER une excellente étude chimique [135] sur les caractères des constituants adjacents d'une même veine de houille où les prélèvements ont pu être effectués en un grand nombre de points, étude que j'utiliserai surtout dans la deuxième partie de ce chapitre.

Je signalerai, néanmoins, ici que ce travail dont les résultats sont résumés dans le tableau VIII (p. 319) met nettement en évidence les grandes analogies existant entre les constituants macroscopiques autres que le Fusain.

#### E. — Constituants macroscopiques de houilles belges

M. O. DE BOOSERÉ a publié en 1926 [105] une excellente étude chimique de charbons caminois qui a porté sur trois veines de houilles appartenant à des charbonnages différents. Ces houilles ne contenaient que trois constituants macroscopiques attribués par l'auteur aux houilles brillantes (Vitrain), aux houilles mates (Durains) et au Fusain.

(1). Les données figurant dans ce tableau sont les moyennes d'un certain nombre d'analyses de houilles différentes.

(2). L'emploi du *Fuel ratio* dans la distinction des houilles a été proposé par Persifer Frazer, qui fut le premier Docteur ès sciences étranger de l'Université de Lille et dont les travaux sur les houilles sont bien connus. Voir notamment :

P. FRAZER. — Classification of coals. *Rep't M. M. Second Geol. Surv. Pennsylvania*, 1878-79, Harrisbourg, 1879. — Classification of coals. *Trans. Am. Inst. Min. Engineers*, VI, p. 430 à 451, *Eston (U. S. A.)*, 1879.

(3). M. HENDRICKSON dit en substance ([308], p. 83, col. 1)... « *that no precise characteristic can be attributed to any one of the ingredients of banded coal, irrespective of its source.*

Les résultats généraux de cette étude qui a porté sur trois charbons provenant des charbonnages de Winterslag, André Dumont et de Limbourg-Meuse sont résumés dans la partie droite du tableau de la planche A (p. 317).

Dans ces houilles le Fusain se distingue nettement des deux autres constituants par des teneurs plus faibles en matières volatiles (15,97 : 13,96 : 15,47 %), la valeur élevée du rapport carbone hydrogène (21,95 : 26,87 : 23,73) et des pourcentages de cendres (11,35 : 7,35 : 10,78 %), les mauvaises qualités de son coke et des indices agglutinants particulièrement bas (4 : 3,5 : 6).

En ce qui concerne les houilles brillantes (Vitains) et mates (Durains) il y a lieu de distinguer deux cas différents.

*a.* — HOUILLE BRILLANTE ET HOUILLE MATE DU CHARBONNAGE DE WINTERSLAG. (PL. A).

Cette houille contient à l'état brut, 19,62 % de matières volatiles et 4,80 % de cendres, elle donne un coke fondu brillant, un peu boursoufflé, présente un indice agglutinant égal à 15 et un indice de gonflement de 2,20. Elle se range donc dans la catégorie des houilles à coke de GRUNER, mais reste, néanmoins, assez voisine des houilles maigres (M. V. < 18 %).

Dans cette houille le constituant sélectionné sous le nom de houille mate (Durain) présente une composition chimique qui le rapproche du Fusain. Dans ces deux composants les teneurs en matières volatiles (17,48 : 15,97 %), en carbone (89,99 : 89,76 %), en hydrogène (4,38 : 4,08 %), en azote (1,39 : 1,13 %) et en soufre (0,87 : 0,78 %) sont de même ordre. Les teneurs en cendres (4,03 : 11,35 %) et les indices agglutinants (7,4) sont différents, ces deux caractères s'expliquant mutuellement dans une certaine mesure, mais les indices de gonflement sont égaux (1 : 1). Les coques sont de natures différentes, bien que tous deux non boursoufflés. Les rapports « carbone hydrogène » sont assez voisins (20,51 : 21,95).

Par contre, les houilles brillante (Vitrain) et mate (Durain) sont légèrement différentes l'une de l'autre quant à leurs teneurs en matières volatiles (21,31 : 17,48 %), en carbone (87,74 : 89,99 %), en oxygène (4,86 : 3,35 %) et à leur rapport carbone-hydrogène (18,93 : 20,51). Leurs différences s'affirment surtout dans leurs indices agglutinants (19 : 7) et de gonflement (3,18 : 1) et dans la qualité de leurs coques (fondu, boursoufflé-aggloméré, non fondu, non boursoufflé).

*b.* — HOUILLE BRILLANTE ET HOUILLE MATE DES CHARBONNAGES ANDRÉ DUMONT ET DE LIMBOURG-MEUSE. (PL. A).

Ces houilles analysées à l'état brut contiennent respectivement 27,30 et 27,22 % de matières volatiles, 4,15 et 5,25 % de cendres. Elles donnent des coques différents, les uns boursoufflés et assez fragiles, les autres peu boursoufflés et assez durs. Leurs indices de gonflement (3,30 : 4,52) et agglutinants (17 : 18,5) sont légèrement différents. Elles se rangent parmi les houilles grasses marécales de GRUNER dont certaines variétés fournissent de très bons coques métallurgiques.

Dans les deux houilles en question les chiffres cités révèlent surtout des analogies entre les deux constituants différents prélevés côte à côte dans la même veine. Les teneurs respectives

en matières volatiles (29,70 : 26,65 % — 27,67 : 28,45 %) <sup>(1)</sup>, en carbone (87,20 : 87,98 % — 85,85 : 87,38 %), en hydrogène (4,57 : 4,55 % — 4,38 : 4,45 %) et en oxygène (4,97 : 5,02 % — 6,67 : 6 %), sont de même ordre et les pourcentages en azote (2,11 : 1,60 % — 2,03 : 1,36 %) et en soufre (1,13 : 0,84 % — 1,03 : 0,79 %) sont assez voisins. Les rapports carbone-hydrogène sont quasi identiques (19,08 : 19,33 — 19,58 : 19,60). Certaines différences se révèlent, par contre, entre les indices agglutinants (21 : 10 — 21,5 : 12,5) et de gonflement (4,66 : 1,12 — 4,70 : 1,04) ainsi que dans les qualités des coques qui sont boursoufflés dans les cas des houilles brillantes, secs et durs dans ceux des houilles mates.

Dans les deux houilles en question les Fusains sont nettement différents des deux autres constituants qui leur sont respectivement associés et se distinguent par des teneurs en matières volatiles (13,96 — 15,47 %), en hydrogène (3,37 — 3,68 %) et en oxygène (4,09 — 4,64 %) beaucoup plus faibles et par des rapports Carbone-hydrogène bien plus élevés (26,87 — 23,73). Leurs indices agglutinants (3,5 — 6) sont sensiblement inférieurs à ceux des houilles mates, mais leurs indices de gonflement (1 — 1) sont très voisins de ceux de ces dernières.

En résumé, l'étude très poussée de M. DE BOOSERÉ qui a porté sur des charbons de natures assez différentes de celles des charbons anglais qui ont fait l'objet des publications citées précédemment montre :

1<sup>o</sup> Que les Fusains pauvres en matières volatiles sont très différents des houilles brillantes (Vitains) ou des houilles mates (Durains) qui leur sont associés.

2<sup>o</sup> Que dans un cas particulier (Winterslag) la houille mate est quasi identique au Fusain, caractère qui s'explique par le fait que la houille brute en question possède une composition chimique voisine de celle que présente ordinairement ce dernier constituant.

3<sup>o</sup> Que dans les deux autres cas (André Dumont et Limbourg-Meuse) les analyses chimiques immédiates et élémentaires révèlent surtout de grandes analogies entre les houilles brillantes et mates adjacentes qui ne présentent guère de différences importantes que dans leur façon de réagir au cours des phénomènes de cokéfaction.

## F. — Constituants macroscopiques des houilles françaises

L'étude chimique des constituants macroscopiques des houilles n'a fait qu'incidemment l'objet de mes recherches personnelles [200 et 202] qui ont eu surtout pour but la description microscopique et l'étude du mode de formation des charbons du Nord de la France et de leurs lits élémentaires. Les résultats des analyses immédiates de ces derniers lits seront surtout utilisés par moi dans la deuxième partie de ce chapitre, et je me bornerai à rappeler, ici, certains faits qu'elles m'ont permis de mettre en évidence.

L'étude comparative de six veines de houilles choisies respectivement par groupe de deux dans les trois grands types chimiques et pétrographiques de charbon du gisement montre que

(1). Les nombres placés avant le tiret et séparés par deux points correspondent respectivement à la houille brillante et à la houille mate du Charbonnage André Dumont, ceux figurant après le tiret à ces mêmes constituants dans le charbon du charbonnage de Limbourg-Meuse.



COMPOSITIONS CHIMIQUES DES CONSTITUANTS MACROSCOPIQUES DE DIFFÉRENTES VEINES DE HOUILLE

PROVENANCES DES HOUILLES		HAMSTEAD (1)				EAST KIRKBY (2)				WINTERSLAG (3)			ANDRÉ DUMONT (3)			LIMBOURG-MEUSE (3)		
NATURE DES ÉCHANTILLONS ÉTUDIÉS		Houille brillante (Vitrain)	Houille semi-brillante (Clarain)	Houille mate (Durain)	Fusain.	Houille brillante (Vitrain)	Houille semi-brillante (Clarain)	Houille mate (Durain)	Fusain	Houille brillante (Vitrain)	Houille mate (Durain)	Fusain	Houille brillante (Vitrain)	Houille mate (Durain)	Fusain	Houille brillante (Vitrain)	Houille mate (Durain)	Fusain
DENSITÉ		1,290	1,280	1,395	»	1,230	1,220	1,470	1,520	1,359	1,293	1,388	1,265	1,283	1,417	1,384	1,397	1,494
Analyse immédiate	Humidité	12,60	10,20	6,50	3,90	9,90	8,60	6,00	3,10	0,69	0,84	0,58	0,62	0,51	0,42	0,57	0,44	0,43
	Cendres	1,20	1,45	3,6	10,00	0,90	1,30	7,80	13,80	3,11	4,03	11,35	2,12	4,00	7,35	3,91	4,02	10,78
	Mat. Vol.	38,60	40,80	39,40	22,60	33,00	33,20	34,50	20,30	21,31	17,48	15,97	29,70	26,65	13,96	27,67	28,45	15,47
Analyse élémentaire	C %	78,50	79,10	80,80	84,70	80,46	80,48	80,77	87,21	87,74	89,99	89,76	87,20	87,98	90,68	85,85	87,38	87,43
	H %	5,15	5,20	5,10	3,90	5,33	5,32	4,84	3,84	4,63	4,38	4,08	4,57	4,55	3,37	4,38	4,45	3,68
	O %	13,90	13,40	11,80	9,70	11,50	11,85	12,36	7,18	4,86	3,35	4,22	4,97	5,02	4,09	6,67	6,00	4,64
	Az %	1,33	1,28	1,30	1,05	1,29	1,06	1,03	0,95	1,87	1,39	1,13	2,11	1,60	1,03	2,03	1,36	1,15
	S %	1,12	1,02	1,00	0,65	1,42	1,29	1,00	0,82	0,88	0,87	0,78	1,13	0,84	0,81	1,03	0,79	3,07
	Rapport C/H	15,2	15,2	15,8	21,7	15,09	15,12	16,68	22,71	18,93	20,51	21,95	19,08	19,33	26,87	19,58	19,60	23,73
Action de la Pyridine et des solvants	Composés α	65,80	72,80	78,40	89,90	85,30	»	92,20	»	95,17	96,14	95,46	78,37	88,69	93,79	72,34	91,16	92,42
	Composés β	25,00	19,00	13,00	10,10	10,90	»	4,90	»	1,20	0,78	1,80	7,98	3,23	1,32	7,37	2,20	3,86
	Composés γ	9,20	8,20	8,60	»	3,80	»	2,90	»	3,63	3,08	2,73	13,65	8,08	4,88	20,28	6,64	3,71
Indices agglutinant		»	»	»	»	»	»	»	»	19	7	4	21	10	3,5	21,5	12,5	6
Aspect du coke		Fondu, très boursoufflé argenté.	Fondu, peu boursoufflé, brunâtre	non fondu, peu aggloméré	Pulvérent	très boursoufflé, poreux, brillant	un peu boursoufflé, dur et dense	Pulvérent	Pulvérent	Fondu, boursoufflé	un peu fondu, gris d'acier, sec, dur	Aggloméré, non fondu, ni boursoufflé, noir et friable	très boursoufflé, fondu, métallique, fragile	Fondu, métallique, sec et dur.	Noir, grisâtre, non fondu, à peine aggloméré	très boursoufflé et très friable	Fondu, argenté sec et dur	Noir, aggloméré, sec et fragile
Distillation à 500° (Basse température)	Indices de gonflement	»	»	»	»	»	»	»	»	3,18	1,00	1,00	4,66	1,12	1,00	4,70	1,04	1,00
	Semi-coke %	79,00	»	79,00	»	»	»	»	»	84,90	89,20	91,00	74,84	82,46	91,07	78,44	81,28	88,45
	Gaz %	8,70	»	7,20	»	»	»	»	»	6,50	5,20	4,40	7,20	1,80	2,20	5,20	5,00	3,40
	Goudron et eau %	12,30	»	13,80	»	»	»	»	»	10,57	4,56	6,02	18,98	4,42	2,72	10,50	9,90	4,62
Aspect du coke		Fondu, boursoufflé	partiellement fondu, légèrement boursoufflé	à peine aggloméré	Pulvérent	»	»	»	»	Poreux, fragile, bulleux	Compact, peu poreux, non boursoufflé	Pulvérent noir, non aggloméré	très boursoufflé et très bulleux	fondu, brillant, non boursoufflé, très dur, brillant	Pulvérent noir, non aggloméré	Excessivement boursoufflé, caverneux, fragile	Fondu, peu poreux, non boursoufflé	Noir, pulvérent, non aggloméré

(1) Cette houille est celle de la Hamstead Colliery (Warwickshire) citée par M<sup>me</sup> M. C. STOPES dans son mémoire [608] sur les constituants macroscopiques des charbons bitumineux. Elle a été étudiée au point de vue chimique par MM. LESSING, TIDESWELL et WHEELER dont les résultats ont été résumés dans la traduction anglaise du travail de M. DE BOOSERÉ [105] Consulter aussi : — F. V. TIDESWELL et R. H. WHEELER. — *Trans. chem. Soc.* 1919, 115, 619, 636. — LESSING. — *Trans. Chem. Soc.*, 1920, 117, 247, 265.

(2) Cette houille étudiée par MM. BARANOV et FRANCIS [9] provient de la East Kirkby Colliery (Nottinghamshire).

(3) Ces houilles des charbonnages de Winterslag, André Dumont et de Limbourg-Meuse (Campine, Belgique) ont fait l'objet de la part de M. O. DE BOOSERÉ [105] d'une première étude d'ordre chimique puis d'une étude microscopique [106]. L'étude chimique a été reproduite dans *Fuel in Science and Practice* [105] dans une note où ses résultats ont été comparés à ceux fournis par la houille de la Hamstead Colliery dont il est question dans la note (1) ci-dessus.

dans tous les cas observés seul le Fusain apparaît comme un constituant macroscopique bien défini en ce sens qu'il conserve les mêmes caractères généraux dans les houilles bitumineuses, dans les houilles à coke et dans les houilles maigres. Par contre, les trois autres constituants (houille brillante = Vitrain; h. semi-brillante = Clarain; h. mate (Durain) prélevés côte à côte présentent de grandes analogies de compositions chimiques et réagissent sensiblement de la même façon à la cokéfaction comme le montre clairement le tableau IX (p. 322).

## II

### Étude comparative des variations de compositions chimiques de chaque constituant prélevé en différents points d'une même veine ou d'un gisement

Les travaux précédemment analysés soulignent les analogies des houilles brillantes, des houilles semi-brillantes et des houilles mates prélevées dans des lits adjacents. Il convient, maintenant, de rechercher quels sont les caractères chimiques que présentent l'un quelconque de ces constituants macroscopiques en différents points d'une même veine ou dans différentes veines d'un même gisement.

#### A. — Variations de compositions des constituants macroscopiques de la veine « Five Feet » (Fifeshire).

Cette veine de houille écossaise a été étudiée en quinze points de prises différents par M. JAMES COOPER [135] qui a pu ainsi montrer quelles sont les variations des caractères des constituants macroscopiques d'une seule veine dans toute l'étendue d'un même gisement. Les échantillons qui ont servi aux belles recherches de M. COOPER proviennent des charbonnages dont les noms figurent dans la première colonne du tableau VIII. En chaque point les divers constituants étudiés ont été prélevés côte à côte et peuvent donc être comparés entre eux.

Le tableau VIII donne les principaux résultats de l'étude en question.

Les caractères des constituants macroscopiques de la houille de la veine « Five Feet » peuvent être résumés de la façon suivante :

##### a. — COMPOSITIONS CHIMIQUES DES FUSAINS.

Dans tous les points étudiés les Fusains *ne donnent pas de coke* dans le sens propre du terme, les résidus étant non agglomérés ou pulvérulents. Sauf un seul cas (Walleyfield, 19,10%) leurs teneurs en matières volatiles sont faibles (10,80 à 17,40 %) et permettent de les classer parmi les combustibles maigres (M. V. < 18 %). Leurs teneurs en cendres sont très variables et oscillent entre 4,75 et 20,40 %. Il n'existe pas de rapport constant entre les teneurs en M. V. du Fusain et celles des autres constituants adjacents, car le Fusain le plus pauvre en matières volatiles (Jenny Gray, 10,80 %) est associé à des houilles brillante (Vitrain) et semi-brillante (Clarain) et surtout à une houille mate (Durain) donnant à la distillation de fortes proportions de gaz

TABLEAU VIII

CONSTITUANTS MACROSCOPIQUES D'ÉCHANTILLONS DE CHARBONS PRÉLEVÉS EN DIFFÉRENTS POINTS D'UNE MÊME VEINE

(d'après James Cooper) — (Five-Foot-Seam, Fifeshire, Écosse)

FIVE-FOOT-SEAM	HOUILLES BRILLANTES (Vitains)			HOUILLES SEMI-BRILLANTES (Clarains)			HOUILLES MATES (Durains)			FUSAINS		
	CHARBONNAGES	M. V.	Cendres	Cokes	M. V.	Cendres	Cokes	M. V.	Cendres	Cokes	M. V.	Cendres
Blairhall	»	»	»	»	»	»	22,50	25,16	dur surbaissé	12,45	20,40	pas de coke
Valleyfield	22,50	4,99	dur boursofflé	»	»	»	13,45	67,00	dur surbaissé	19,10	7,35	pulvérulent
Lindsay	19,75	1,25	pulvérulent	17,25	1,15	pulvérulent	15,25	13,50	pulvérulent	13,50	16,25	pulvérulent
Kinglassie	»	»	»	23,00	2,00	mi-dur boursofflé	31,50	18,25	friable surbaissé	»	»	»
Glencraig	22,00	1,75	friable boursofflé	24,50	2,25	mi-dur boursofflé	»	»	»	13,90	9,25	pulvérulent
Saline	»	»	»	26,70	3,75	friable boursofflé	22,50	9,10	dur surbaissé	13,00	18,50	pulvérulent
Aitken	»	»	»	27,50	1,35	mi-dur boursofflé	»	»	»	17,40	4,75	pulvérulent
Dunnikier	»	»	»	32,50	2,60	mi-dur boursofflé	38,50	6,75	dur surbaissé	14,20	5,50	pulvérulent
Minto	»	»	»	35,00	2,95	mi-dur boursofflé	43,00	8,20	dur surbaissé	14,80	7,00	pulvérulent
Lumphinnans	37,00	3,25	friable boursofflé	35,75	2,00	mi-dur boursofflé	37,00	2,25	dur surbaissé	16,50	14,25	pulvérulent
Jenny Gray	32,50	5,50	mi-dur boursofflé	36,00	1,95	mi-dur boursofflé	41,00	4,65	dur surbaissé	10,80	8,45	»
Kirkford	39,50	1,35	friable boursofflé	36,50	1,50	mi-dur boursofflé	41,00	3,50	dur surbaissé	»	»	pulvérulent
Wellwood	41,00	1,50	mi-dur boursofflé	37,50	3,50	mi-dur boursofflé	37,50	5,50	dur surbaissé	»	»	»
Bow hill	36,00	1,25	mi-dur boursofflé	38,50	1,00	mi-dur boursofflé	32,00	5,50	dur surbaissé	14,00	5,50	pulvérulent
Dora	38,50	1,50	friable boursofflé	38,50	1,75	friable boursofflé	40,50	1,35	dur surbaissé	15,50	10,00	pulvérulent

(respectivement 32,50 : 36 : 41 %), tandis que le Fusain le plus riche en M. V. (Valleyfield, 19,10 %) voisine avec une houille brillante et une houille mate présentant dans chaque cas les teneurs en M. V. minima (22,50 : 13,45 %) observées dans les constituants correspondants de la veine envisagée.

*Dans toute l'étendue de la « Five Feet Seam » le Fusain est donc un constituant bien défini en ce sens qu'il s'apparente nettement aux combustibles maigres dépourvus de pouvoir cokéfiant.*

#### b. — COMPOSITIONS CHIMIQUES DES HOUILLES MATES (DURAINS).

Ce constituant contient dans les différents points de la veine en question des teneurs en matières volatiles très variables s'échelonnant entre 43 % (Minto) et 13,45 % (Valleyfield). Les teneurs en cendres peuvent être très faibles (Dora, 1,35 %) mais peuvent atteindre des taux anormaux (Blairhall, 25,16 %, Valleyfield, 67 %). Les houilles mates à teneurs en cendres normales (1,35 à 6,75 %) donnent des coques durs et surbaissés analogues à ceux que fourniraient des houilles brutes de mêmes teneurs en matières volatiles <sup>(1)</sup>. Les variétés de houilles mates moins riches en M. V. contiennent des pourcentages en cendres anormales (9,10 à 67 %) qui expliquent, au moins dans une certaine mesure, les mauvaises qualités de leurs coques qui sont soit pulvérulents, soit durs et surbaissés.

#### c. — COMPOSITIONS CHIMIQUES DES HOUILLES SEMI-BRILLANTES (CLARAINS).

Ce constituant présente dans la « Five Feet Seam » de grandes variations de compositions chimiques, ses teneurs en matières volatiles s'échelonnant entre 38,50 % et 17,25 %. Les teneurs en cendres toujours assez faibles sont comprises entre 1 % et 3,50 %. Les coques obtenus, tantôt pulvérulents (Lindsay, M. V. 17,25 %) ou friables et boursoufflés (Saline, M. V. 26,70 % ; Dora, M. V. 38,50 %) sont le plus souvent mi-durs et boursoufflés. Les caractères des coques sont sensiblement ceux des houilles brillantes (Vitains) correspondantes. (Lindsay, Jenny Gray, Wellwood, Bow hill, Dora).

#### d. — COMPOSITIONS CHIMIQUES DES HOUILLES BRILLANTES (VITAINS).

Ces houilles brillantes présentent des variations de compositions chimiques de même ordre que celles des houilles semi-brillantes. Leurs teneurs en matières volatiles oscillent entre 41 % et 19,75 %, leurs teneurs en cendres entre 1,25 et 5,50 %. Leurs coques sont pulvérulents (Lindsay, M. V. 19,75 %), mi-durs et boursoufflés ou friables et boursoufflés dans la plupart des cas. Un seul échantillon (Valleyfield, M. V. 22,50 %) donne un coke dur et boursoufflé pour une teneur en M. V. analogue à celle d'une bonne houille à coke.

En résumé, l'étude de M. J. COOPER montre que si l'on excepte le Fusain chacun des constituants macroscopiques peut présenter dans une houille donnée des compositions chimiques très variables qui sont toujours en rapport avec les caractères généraux de la veine considérée dans son ensemble en chaque point de prise.

(1). Sauf pour celle de Bow hill relativement pauvre en M. V. (32 %) les teneurs en gaz de ces houilles mates s'échelonnent entre 37 % et 43 %.

*Cette étude montre, en outre, que les houilles mate (Durain), semi-brillante (Clarain) et brillante (Vitrain) prélevées en un même point sont, en règle générale, plus semblables entre elles que différents échantillons d'un même constituant recueillis en divers points d'une même veine.*

### **B. — Variations de compositions chimiques des constituants macroscopiques des houilles françaises**

J'ai personnellement soumis à l'analyse immédiate des houilles prélevées dans six veines différentes du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais et représentant les divers types chimiques et pétrographiques de charbons de ce gisement. Cette étude qui a fait l'objet de publications antérieures [200 à 202] met en évidence les résultats que je résumerai et compléterai dans le tableau IX (p. 322).

D'autre part, une étude comparative des Fusains des différents types de houilles m'a permis de montrer que contrairement à ce qui a lieu pour les autres constituants macroscopiques, cette forme particulière de la fossilisation du bois des plantes houillères possède des compositions chimiques indépendantes de ses conditions de gisement comme l'indique le tableau X (p. 323), où figurent les résultats des analyses de Fusains provenant du Nord de la France ou des régions voisines et des houilles encaissantes correspondantes.

L'étude chimique des constituants macroscopiques des houilles du Nord de la France vient confirmer les résultats mis en évidence par M. J. COOPER en montrant que dans différentes veines d'un gisement *seul le Fusain présente des caractères qui permettent de le classer dans une catégorie de combustible bien déterminée* et que les houilles brillantes (Vitains), semi-brillantes (Clarains) et mates (Durains) juxtaposées dans une même veine *sont beaucoup plus proches les unes des autres que des échantillons de l'une quelconque d'entre elles prélevés dans différentes veines d'un même gisement.*

### **C. — Variations de compositions chimiques des constituants macroscopiques des houilles sarroises**

L'on doit à M. H. HOFFMANN [317] une très importante étude comparative des caractères chimiques des constituants macroscopiques des houilles sarroises. Poursuivie, du reste, dans ce but, cette étude ne permet la comparaison que d'échantillons d'un constituant donné prélevés en divers points du gisement ; points dont la situation n'est qu'approximative, les prises d'essai ayant été recueillies dans des wagons dont les provenances à partir de puits d'extraction donnés étaient seules connues.

M. H. HOFFMANN a analysé vingt échantillons de chacun des constituants macroscopiques des houilles sarroises provenant de douze puits d'extraction et obtenu des résultats que je résumerai dans le Tableau XI (p. 324). Les données numériques figurant dans ce tableau représentent les résultats extrêmes fournis par chaque catégorie des lits élémentaires examinés.

**TABEAU IX**  
COMPOSITIONS CHIMIQUES DES CONSTITUANTS MACROSCOPIQUES DES DIVERS TYPES DE HOUILLES DU NORD DE LA FRANCE

Types de houilles	PROVENANCES	HOUILLES BRILLANTES (Vitrains)				HOUILLES SEMI-BRILLANTES (Clarains)				HOUILLES MATES (Durains)				FUSAINS			
		M. V. 0/0 (1)	Cendres 0/0	Densités	Cokes	M. V. 0/0	Cendres 0/0	Densités	Cokes	M. V. 0/0	Cendres 0/0	Densités	Cokes	M. V. 0/0	Cendres 0/0	Densités	Cokes
Houilles bitumineuses	NÈUX Fosse N° 7 4 <sup>m</sup> e Veine	38,52	3,70	1,263	Poreux, fragiles, peu cohérents.	39,72	1,70	1,291	Poreux, fragiles, peu cohérents.	47,12	2,17	1,153	Poreux, fragiles, peu cohérents.	12,86	1,20	1,567	Pulvérents, noirs, non fondus, pas ou peu agglomérés.
	BRUAY Fosse N° 3 5 <sup>m</sup> e Veine	39,37	3,25	1,276	Poreux, fragiles, peu cohérents.	41,20	2,70	1,329	Poreux, fragiles, peu cohérents.	40,80	5,95	1,273	Poreux, fragiles, peu cohérents.	14,72	4,95	1,425	
Houilles à coke	GOUY-SERVINS Fosse N° 1 Veine N	25,67	1,25	1,222	Durs, sonores, cohérents.	26,56	1,20	1,257	Durs, sonores, cohérents.	(2)	»	»	»	14,25	1,80	1,465	
	NÈUX Fosse N° 2 Veine St-Constant	22,85	1,30	1,165	Durs, sonores, cohérents.	21,60	3,05	1,187	Durs, sonores, cohérents.	»	»	»	»	16,84	8,60	1,315	
Houilles anthraciteuses	ANICHE Fosse Déjardin Veine Poissonnière	10,85	2,40	1,191	Pulvérents, noirs, non fondus, pas ou peu agglomérés.	9,94	5,50	1,289	Pulvérents, noirs, non fondus, pas ou peu agglomérés.	»	»	»	»	9,48	4,10	1,532	
	OSTRICOURT Fosse N° 5 Vne Jeanne couchant	10,96	2,39	1,353	Pulvérents, noirs, non fondus, pas ou peu agglomérés.	10,75	5,12	1,261	Pulvérents, noirs, non fondus, pas ou peu agglomérés.	»	»	»	»	8,36	3,75	1,219	

(1). Matières volatiles cendres déduites, calculées sur la masse de substances organiques contenues dans chaque constituant.

(2). Les houilles mates (Durains) dans le sens propre du terme, n'existent que dans les houilles bitumineuses du Nord de la France.

TABLEAU X

COMPOSITION CHIMIQUE DE FUSAINS  
D'ORIGINES DIVERSES ET DES HOUILLES ENCAISSANTES CORRESPONDANTES

Types de houilles	ORIGINES (Charbonnage, Fosse, Veine)	HOUILLES ENCAISSANTES				FUSAINS			
		Humidité %	M. V. %	Cendres %	Cokes	Humidité %	M. V. %	Cendres %	Cokes
Houilles bitumineuses	NŒUX, F <sup>se</sup> N° 7 4 <sup>me</sup> Veine	1,55	42,75	2,76	Poreux, fragiles, peu cohérents	0,10	12,71	1,20	Pulvérents, noirs, non fondus, pas ou peu agglomérés
	BRUAY, F <sup>se</sup> N° 3 5 <sup>me</sup> Veine	0,80	38,36	3,96		0,80	14,00	4,95	
	LIÉVIN, F <sup>se</sup> N° 7 Veine Édouard	2,00	35,65	3,25		0,65	11,50	1,73	
	PRODUITS (Belgique) F <sup>se</sup> N° 20 V <sup>de</sup> Petit faux Corps	0,97	33,70	2,35		1,25	14,70	5,70	
Houilles à coke	COUY-SERVINS, F <sup>se</sup> N° 1 Veine N.	traces	26,00	6,00	Durs, sonores, cohérents	traces	14,00	1,80	
	ANICHE, F <sup>se</sup> Delloye Veine Lefrançois	0,21	22,00	1,20		0,45	11,40	7,85	
	ANICHE, F <sup>se</sup> Delloye Veine Bernicourt	0,35	22,40	2,45		0,27	8,80	2,70	
	NŒUX, F <sup>se</sup> N° 2 Veine S <sup>t</sup> Constant	0,87	20,67	3,50		0,10	15,40	8,60	
Houilles anthraciteuses et anthracites	LIMBOURG HOLLANDAIS F <sup>se</sup> Wilhelmina, Veine VIII	0,20	12,14	4,25	Pulvérents, noirs, non fondus, pas ou peu agglomérés	traces	11,01	4,10	
	BONNE ESPÉRANCE (Belgique) Veine du Fond	traces	10,90	3,00		0,30	9,85	8,89	
	ANICHE, F <sup>se</sup> Déjardin Veine Poissonnière	1,40	10,50	5,42		0,75	9,10	4,10	
	OSTRICOURT, F <sup>se</sup> N° 5 Veine Jeanne Couchant	traces	9,98	4,26		0,20	8,05	3,75	

## TABLEAU XI

## COMPOSITIONS CHIMIQUES DES CONSTITUANTS MACROSCOPIQUES DES HOUILLES SARROISES

(d'après Hoffmann)

CONSTITUANTS MACROSCOPIQUES	Mat. Vol. brutes %	M. V. cendres déduites %	Cendres %	Densité vraie	Volume du coke c. c.
HOUILLES BRILLANTES (Vitains)	27,20	27,40	0,40	1,271	3,20
	à 36,30	à 36,90	à 2,20	à 1,394	à 17,30
HOUILLES SEMI-BRILLANTES (Clarains)	32,40	33,10	0,72	1,233	2,00
	à 46,60	à 49,10	à 11,10	à 1,369	à 5,30
HOUILLES MATES (Durains)	28,90	31,30	0,36	1,210	0,59
	à 62,00	à 64,00	à 44,90	à 1,689	à 2,90
FUSAINS	8,80	9,40	0,92	1,416	0,60
	à 18,10	à 18,71	à 7,90	à 1,665	à 0,70

Les résultats de M. HOFFMANN peuvent être interprétés de la façon suivante en ne perdant pas de vue qu'à l'inverse des veines de houille qui ont fait l'objet des deux études précédentes, toutes les couches de houille examinées par ce dernier auteur appartiennent à une même grande catégorie de combustibles, celle des charbons à hautes teneurs en matières volatiles (M. V. > 26 %) la teneur minima observée étant de 27,20 % pour tous les constituants autres que le Fusain.

## a. — COMPOSITIONS CHIMIQUES DES FUSAINS SARROIS.

Sur ce point les résultats de M. HOFFMANN viennent confirmer ce qui a été dit sur les caractères de ce constituant macroscopique.

Les teneurs en matières volatiles des Fusains sarrois s'échelonnent entre 8,80 et 18,10 % lorsque l'on ne tient pas compte des pourcentages des cendres, entre 9,40 et 18,71 % lorsque l'on calcule cette teneur par rapport à la masse totale de substances organiques. Dans ce dernier cas l'on constate que sur vingt types de Fusain cinq seulement ont des teneurs en M. V. dépassant sensiblement 15 % et que sur les quinze échantillons restant onze ont des pourcentages en M. V. inférieurs à 13,20 %.

Les teneurs en cendres sont comprises entre 0,92 et 7,90 %, quinze échantillons sur vingt présentant des pourcentages inférieurs à 4,20 % et deux prises d'essais seulement dépassant le taux de 5 %.



Tous ces Fusains ne donnent pas de coke à proprement parler, les volumes des résidus de distillation étant toujours très faibles (0,60 à 0,70).

Dans les Veines de houilles de la Sarre riches en matières volatiles *tous les Fusains étudiés présentent donc les caractères des combustibles anthraciteux* (teneurs en M. V. inférieures à 18 % environ, absence de pouvoir cokéfiant.).

*b.* — COMPOSITIONS CHIMIQUES DES HOUILLES MATES SARROISES. (DURAINS).

Parmi les échantillons de ce constituant huit présentent des teneurs en matières volatiles supérieures à 48,50 % et trois d'entre eux renferment respectivement 58,50 : 61,60 et 64 % de gaz mis en liberté au cours de la distillation. Ces hautes teneurs en matières volatiles semblent indiquer qu'il s'agit, selon toute vraisemblance, de lits à caractères spéciaux et non de houilles mates proprement dites.

Parmi les douze échantillons restant quatre contiennent respectivement 43 % (2 échantillons), 45,50 % et 46,40 % de matières volatiles, c'est-à-dire des pourcentages élevés analogues à ceux que j'ai observés dans certains lits de houille mate passant nettement aux Cannel coals (Gayets) (Voir tableau IX (p. 322), houille mate de la 4<sup>me</sup> Veine de Nœux, M. V. = 47,12 %).

Huit prises d'essais sur vingt renferment donc des teneurs en matières volatiles de l'ordre de celles que l'on rencontre dans les houilles proprement dites, teneurs s'échelonnant entre 40,90 % et 31,30 %. Dans ces cas que l'on peut considérer comme normaux l'on observe que ces teneurs en M. V. sont assez voisines de celles des houilles semi-brillantes (Clarains) correspondantes comme le montre le tableau XII.

TABLEAU XII

COMPARAISON DES TENEURS EN MATIÈRES VOLATILES DE CERTAINES HOUILLES MATES ET DE CERTAINES HOUILLES SEMI-BRILLANTES SARROISES DE MÊMES PROVENANCES

(d'après Hoffmann)

HOUILLES MATES (Durains)	M. V. %	34,80	31,30	35,40	40,00	33,55	36,50	34,90	40,90
HOUILLES SEMI-BRILLANTES (Clarains)	M. V. %	36,20	37,20	40,20	39,30	35,90	40,00	33,10	35,10

Dans cinq cas les teneurs en matières volatiles des houilles mates sont inférieures à celles des houilles semi-brillantes correspondantes.

Les teneurs en cendres des houilles mates donnent lieu également à certaines remarques. Dans quatre cas elles dépassent 14,50 % et atteignent les taux anormaux de 22,30 %, 38,60 % et 44,90 % qui expliquent les volumes des cokes particulièrement bas des échantillons correspondants, volumes qui sont respectivement de 0<sup>cc</sup>,74, 0<sup>cc</sup>,64 et 0<sup>cc</sup>,59. Ces échantillons représentent des lits de houilles très cendreuses passant même aux schistes bitumineux. Parmi les seize autres prises d'essais, quatre autres contiennent plus de 5,40 % de cendres (respectivement

8,80 %, 7,80 %, 7,80 % et 5,40 %). Dix échantillons renferment moins de 3,20 % de matières minérales, deux d'entre eux ne contenant que 0,90 % et 0,36 % de substances cendreuse.

Si l'on s'en tient aux houilles mates à teneurs en M. V. et en cendres normales les volumes de coke maximum (2<sup>cc</sup>,90) et minimum (1<sup>cc</sup>,90) correspondent respectivement à des houilles mates à pourcentages de matières volatiles assez voisins (34,90 % : 40 %), le coke le plus volumineux étant fourni par la houille mate *la moins riche en matières volatiles*.

Les constituants macroscopiques analysés par M. HOFFMANN comme houilles mates (Durains) correspondent, en réalité, dans un certain nombre de cas à des lits à caractères très particuliers qui ont donné des volumes de coke très faibles. Les caractères des houilles mates à teneurs en cendres et en matières volatiles normales se rapprochent sensiblement de ceux des houilles semi-brillantes correspondantes.

#### c. — COMPOSITIONS CHIMIQUES DES HOUILLES SEMI-BRILLANTES SARROISES (CLARAINS).

Les teneurs en matières volatiles de ce constituant sont comprises entre 33,10 % et 49,10 %, elles ne dépassent 45 % que dans trois cas où elles sont de 46 % : 49 % : 49,10 %, elles sont inférieures ou égales à 40 % dans neuf prises d'essais.

Les teneurs en cendres ne dépassent 3,20 % que dans trois cas (11,10 % : 7,20 % : 5,20 %), pour sept échantillons elles sont inférieures ou égales à l'unité (1 % : 0,96 % : 0,96 % : 0,90 % : 0,74 % : 0,72 % : 0,68 %) et pour trois autres inférieures ou égales à 2 %.

Pour quatre prises d'essais les volumes des coques dépassent 3<sup>cc</sup>,10 (5,30 : 4,80 : 4,10 et 4), pour huit autres ces volumes sont compris entre 3<sup>cc</sup> et 2<sup>cc</sup>.

#### d. — COMPOSITIONS CHIMIQUES DES HOUILLES BRILLANTES SARROISES (VITRAINS).

Dans l'ensemble les houilles brillantes (Vitains) se distinguent nettement des houilles semi-brillantes (Clarains) par des teneurs en matières volatiles beaucoup moins élevées comprises entre 36,90 % et 27,40 %. Dans quatre houilles semi-brillantes seulement les teneurs en M. V. sont inférieures à 36,90 %.

Onze houilles brillantes ont des teneurs en matières volatiles inférieures à 32 % et doivent être rangées parmi les houilles grasses marécales de GRUNER (26 % < M.V. < 32 %), quatre autres contiennent moins de 32,80 % de M. V. et restent par conséquent très proches de ces dernières. Quinze échantillons sur vingt peuvent donc être considérés comme représentant la catégorie de houille la plus voisine des houilles à coke (18 % < M.V. < 26 %).

Les teneurs en cendres des houilles brillantes sont très faibles, elles ne dépassent pas 2,20 %, et ne sont supérieures à l'unité que dans six cas seulement.

Les volumes des coques obtenus sont beaucoup plus considérables que dans les houilles brillantes. Ces volumes qui sont tous supérieurs à 3<sup>cc</sup>,20 ne sont inférieurs à 5<sup>cc</sup> que dans six houilles brillantes sur vingt. Dans huit cas elles sont supérieures à 10<sup>cc</sup> et se rapprochent de cette valeur (8<sup>cc</sup>,8 et 8<sup>cc</sup>,3) dans deux autres cas. Quatre houilles brillantes donnent des volumes de coke (15<sup>cc</sup>,70 : 16<sup>cc</sup>,70 : 16<sup>cc</sup>,80 : 17<sup>cc</sup>,30) supérieurs à 15<sup>cc</sup>.

En résumé, l'étude de M. HOFFMANN montre que dans une série de veines à hautes teneurs

en matières volatiles le Fusain conserve partout les caractères des combustibles anthraciteux (faibles teneurs en M. V. ; absence de pouvoir agglutinant).

Chacun des autres constituants considéré isolément présente dans la série de veines en question de grandes variations de compositions chimiques.

Les houilles brillantes (Vitains) étudiées se distinguent nettement des autres constituants par des teneurs en matières volatiles plus faibles et des cokes beaucoup plus volumineux.

### III

#### Interprétation des résultats précédents

Lorsque M<sup>me</sup> STOPES a signalé [608] qu'il existait entre les constituants macroscopiques des « bituminous coals » anglais certaines différences de compositions chimiques et de propriétés techniques, cette affirmation ne s'appuyait que sur l'étude chimique d'une seule houille, celle de la « *Hamstead Colliery* » qui a fait l'objet des recherches de MM. LESSING, TIDESWELL et WHEELER. Les différences observées étaient dans ce cas assez faibles puisqu'elles se ramenaient d'après les auteurs précédents :

1<sup>o</sup> A des différences de teneurs en cendres pour lesquelles M<sup>me</sup> STOPES [609] cite les valeurs suivantes <sup>(1)</sup> légèrement différentes de celles figurant dans le tableau de la planche A.

Fusain . . . . .	15,59 %
Houille mate ( <i>Durain</i> ) . . . . .	6,26 %
Houille semi-brillante ( <i>Clarain</i> ) . . . . .	1,22 %
Houille brillante ( <i>Vitrain</i> ) . . . . .	1,11 %

2<sup>o</sup> A des différences de compositions chimiques des cendres qui sont plus ou moins solubles dans l'acide chlorhydrique, les résidus insolubles étant les suivants :

Cendres de Fusain . . . . .	12,05 %
Cendres de houille mate ( <i>Durain</i> ) . . . . .	72,71 %
Cendres de houille semi-brillante ( <i>Clarain</i> ) . . . . .	16,90 %
Cendres de houille brillante ( <i>Vitrain</i> ) . . . . .	10,02 %

3<sup>o</sup> Dans les pouvoirs cokéfiantes qui étaient considérés comme exceptionnels pour le Vitrain.

Aujourd'hui, que plus de dix années se sont écoulées depuis que ces opinions basées sur les analyses d'une seule houille ont été émises, il est facile en coordonnant les résultats que j'ai rappelés dans les développements précédents de se rendre compte s'il y a lieu d'étendre ou, au contraire, de restreindre la portée de ce jugement.

(1) Ces valeurs qui figurent déjà dans la notice que j'ai consacrée aux travaux de M<sup>me</sup> STOPES [179 bis] ont été empruntées à l'article qu'elle a publié sous le titre « *Remarks on Vitrain* » [609].

### A. — Nature anthraciteuse du Fusain.

Sur ce point, toutes les recherches ont abouti à des conclusions concordantes et mettent nettement en évidence que quels que soient leurs gisements *tous les Fusains appartiennent à la catégorie des combustibles maigres ou anthraciteux.*

Cendreux ou non ce constituant réagit à la cokéfaction exactement comme les houilles maigres anthraciteuses (10 % > M. V. > 8 %) et les anthracites (M. V. < 10 %) *et ne donne jamais de coke dans le sens propre du terme.* Le résidu est soit une poudre noire inconsistante, soit un gâteau pulvérulent noir, non fondu, à peine aggloméré, s'effritant sous la moindre pression.

*Les teneurs en matières volatiles des Fusains* sont en règle générale *inférieures à 18 %*, elles ne dépassent guère ce pourcentage que dans les Fusains cendreux et peut atteindre des valeurs assez basses pour que ce constituant puisse être, dans certains cas, considéré comme un véritable anthracite. Ces teneurs en matières volatiles sont indépendantes de celles de la houille encaissante ou des constituants adjacents comme cela résulte clairement de l'étude de M. HOFFMANN [317] et de mes propres recherches [202] qui montrent que les Fusains des houilles bitumineuses (M. V. > 26 %) contiennent fréquemment moins de matières volatiles que certains Fusains des houilles à coke (26 % > M. V. > 18 %) ou des combustibles maigres (M. V. < 18 %) <sup>(1)</sup>.

Par contre, certains Fusains comme ceux des houilles anglaises dont les analyses figurent sur le tableau de la Planche A peuvent contenir des pourcentages de matières volatiles (22,60 % : 20,30 %) un peu supérieurs à 18 %, tandis que d'autres présentent accidentellement, comme j'ai pu le mettre en évidence, des teneurs en matières volatiles beaucoup plus élevées (35,26 % : 58,73 %). Dans ces cas exceptionnels l'absence de pouvoir agglutinant et les faibles pouvoirs éclairants des gaz qui s'échappent du creuset au cours des essais pour coke indiquent bien qu'il s'agit de gaz de compositions chimiques très différentes de celles des gaz émis par les houilles à coke ou les houilles bitumineuses. L'étude de tels Fusains anormaux m'a permis de montrer [202] qu'une partie des gaz mis en liberté au cours de la distillation proviennent de la décomposition des substances minérales (Pyrite, carbonates divers) qui imprègnent ces Fusains cendreux (17,35 % : 58,73 %) et libèrent sous l'action de la chaleur de l'anhydride sulfureux et du gaz carbonique.

Dans le cas des houilles anglaises les pourcentages de M. V. légèrement supérieurs à 18 % peuvent s'expliquer, soit par la présence de fortes proportions de cendres (10 % : 13,80 %), soit par le fait que la houille encaissante étant très riche en matières volatiles la présence d'une certaine quantité de cette houille dans les prises d'essais a suffi pour provoquer la faible augmentation constatée.

Comme l'avait déjà signalé FAYOL en 1887 [225] les gaz que libèrent les Fusains sont caractérisés par des pouvoirs éclairants faibles ou nuls.

D'autre part, les recherches microscopiques ont montré que le Fusain représente toujours

(1) Le fait est d'autant plus remarquable que dans le cas des houilles bitumineuses les impuretés qui peuvent être associées aux Fusains consistent en des fragments de houille encaissante riches en matières volatiles et susceptibles, par conséquent, d'entraîner une augmentation du pourcentage de gaz contenu dans les prises d'essais.

l'un des états de fossilisation des tissus ligneux des plantes houillères, état de fossilisation qui est, par conséquent, indépendant de la nature du dépôt végétal qui le contient, puisque les Fusains des houilles bitumineuses, des houilles à coke et des anthracites sont sensiblement identiques et que ceux de certaines houilles riches en matières volatiles peuvent être plus maigres que ceux des combustibles pauvres en gaz. Ceci conduit à cette conclusion que lors des phénomènes de dépôt les tissus ligneux transformés en houille mate fibreuse (*Fusain*) possédaient déjà leurs caractères distinctifs, fait qui vient confirmer la théorie de la différenciation originelle des combustibles que je développerai dans le livre deuxième de ce mémoire.

**B. — Quasi identité des compositions chimiques des houilles brillantes (Vitains), semi-brillantes (Clarains) et mates (Durains) prélevées côte à côte dans une houille donnée.**

Cette quasi identité est mise en évidence par tous les travaux qui ont porté sur l'étude des constituants prélevés côte à côte dans une même veine de houille et trouve son expression la plus simple et la plus tangible dans les teneurs en matières volatiles qui sont, en règle générale, très voisines dans les houilles brillante (Vitain), semi-brillante (Clarain) et mate (Durain) adjacentes. Le tableau XIII (p. 330), où sont résumées les analyses immédiates des lits élémentaires de dix-huit veines de houille, montre que les Fusains ne sont quasi identiques aux autres constituants que dans les veines de houilles maigres.

En ce qui concerne les *houilles brillantes* (Vitains) et les *houilles semi-brillantes* (Clarains) les écarts des teneurs en matières volatiles sont généralement faibles, puisque dans sept cas sur douze ils n'atteignent pas 2 %, que dans trois autres cas ils sont compris entre 2 et 3 % (2,20 : 2,70 : 2,70 %) et que pour deux houilles seulement la différence dépasse 3 % (3,40 : 5 %). Dans quatre analyses l'écart est inférieur à l'unité (0,91 : 0,89 : 0,21 : 0,20 %). En règle générale, les houilles brillantes sont moins riches en M. V. que les houilles semi-brillantes, mais cependant dans deux cas l'on observe le phénomène inverse.

Si l'on excepte deux cas particuliers sur lesquels je reviendrai (1<sup>re</sup> houille du Derbyshire et houille de la 4<sup>me</sup> Veine de Nœux) les différences entre les houilles *mates* (Durains) et les *houilles semi-brillantes* (Clarains), d'une part, et entre les *houilles mates* et les *houilles brillantes* (Vitains), d'autre part, sont également assez faibles.

Pour les *houilles mates* et *semi-brillantes* adjacentes les écarts des teneurs en M. V. sont inférieurs à 3 %, dans cinq cas sur sept, s'ils atteignent 4,20 et 4,30 % dans deux cas la différence est très faible dans une houille où elle n'est que de 0,40 %.

Lorsque l'on compare les *houilles mates* et *brillantes* prélevées côte à côte l'on constate que dans sept houilles sur douze les écarts sont inférieurs ou égaux à 1,50 % et plus faibles que l'unité dans quatre cas. Dans les cinq autres charbons ils ne dépassent pas 3,80 % et n'excèdent 3 % que pour deux analyses.

Dans le cas de la houille de la 4<sup>e</sup> veine de Nœux les écarts importants (7,40 et 8,60 %) entre les houilles mates et semi-brillantes, d'une part, les houilles mates et brillantes, d'autre part, s'expliquent facilement par les caractères très particuliers de la houille mate. Cette dernière par ses caractères généraux (finesse de grain, compacité, faible densité [1,153]), par son

## CONSTITUANTS MACROSCOPIQUES DE HOUILLES ANGLAISES, BELGES ET FRANÇAISES

PROVENANCES DES HOUILLES	HOUILLES BRILLANTES (Vitains)			H. SEMI-BRILLANTES (Clarains)			HOUILLES MATES (Durains)			FUSAINS		
	M.V. (1)	Cendres	P. S. (2)	M.V. (1)	Cendres	P. S. (2)	M.V. (1)	Cendres	P. S. (2)	M.V. (1)	Cendres	P. S. (2)
HAMSTEAD (3)	38,60	1,20	1,290	40,80	1,45	1,280	39,40	3,60	1,395	22,60	10,00	»
DERBYSHIRE (4)	32,80	»	»	37,80	»	»	42,10	»	»	18,40	»	»
DERBYSHIRE	35,40	»	»	38,10	»	»	35,60	»	»	»	»	»
DURHAM	32,90	»	»	»	»	»	36,20	»	»	»	»	»
LANCASHIRE	35,00	»	»	38,40	»	»	35,90	»	»	»	»	»
YORKSHIRE	34,40	»	»	37,10	»	»	32,90	»	»	»	»	»
HAMSTEAD (5)	37,51	1,30	»	»	»	»	35,10	6,00	»	»	»	»
BARNLEY	33,04	1,31	»	»	»	»	36,16	4,06	»	»	»	»
EAST KIRKBY (6)	33,00	0,90	1,230	33,20	1,30	1,220	34,50	7,80	1,470	20,30	13,80	1,520
WINTERSLAG (7)	21,30	3,10	1,359	»	»	»	17,50	4,03	1,293	16,00	11,40	1,388
ANDRÉ DUMONT	29,70	2,10	1,265	»	»	»	26,70	4,00	1,283	14,00	7,40	1,417
LIMBOURG-MEUSE	27,70	3,90	1,384	»	»	»	28,50	4,02	1,397	15,50	10,80	1,494
NŒUX. 4 <sup>me</sup> Veine (8)	38,52	3,70	1,263	39,72	1,70	1,291	47,12	2,17	1,153	12,86	1,20	1,567
BRUAY. 5 <sup>me</sup> Veine	39,37	3,25	1,276	41,20	2,70	1,329	40,80	5,95	1,273	14,72	4,95	1,425
GOUY-SERVINS	25,67	1,25	1,222	26,56	1,20	1,257	»	»	»	14,25	1,80	1,465
NŒUX. V <sup>me</sup> St-Constant	22,85	1,30	1,165	21,60	3,05	1,187	»	»	»	16,84	8,60	1,315
ANICHE	10,85	2,40	1,191	9,94	5,50	1,289	»	»	»	9,48	4,10	1,532
OSTRICOURT	10,96	2,39	1,353	10,75	5,12	1,260	»	»	»	8,36	3,75	1,219

(1) Matières volatiles % cendres déduites. Toutes les teneurs en matières volatiles sont indiquées en caractères gras pour permettre une comparaison plus facile des trois constituants houille brillante (Vitain), houille semi-brillante (Clarain) et Houille mate (Durain) avec le Fusain.

(2) Poids spécifique ou densité vraie déterminée à différentes températures.

(3) Houille de la *Hamstead Colliery* étudiée par M<sup>me</sup> STOPES pour la distinction des quatre constituants macroscopiques et analysée par MM. TIDESWELL et WHEELER (*Trans. chem. Soc.*, 1919, 115, 619, 636).

(4) Les houilles du Derbyshire, du Durham, du Lancashire et du Yorkshire dont les analyses figurent dans ce tableau ont été étudiées par M. A. V. HENDRICKSON [307 et 308].

(5) Analyses citées dans un mémoire de MM. HOLROYD et WHEELER [323].

(6) Consulter une étude de MM. BARANOV et FRANCIS [9].

(7) Les houilles des charbonnages de *Winterslag*, *André Dumont* et *Limbourg-Meuse* ont fait l'objet d'un mémoire de M. O. DE BOOSERÉ [105].

(8) Les houilles françaises des Concessions de *Nœux*, de *Bruay*, de *Gouy-Servins*, d'*Aniche* et d'*Ostricourt* ont fait l'objet d'un mémoire antérieur [200].

pourcentage de matières volatiles élevé (47,12 %) et sa faible teneur en cendres (2,17 %), se classe nettement à côté des charbons spéciaux, Cannel-Coals ou gayets, et forme un terme de passage à des combustibles assez différents des houilles proprement dites.

Une seule houille sur les dix-huit veines étudiées, celle du Derbyshire analysée par M. HENDRICKSON offre un autre exemple d'une différence importante des teneurs en matières volatiles des houilles mate et brillante (42,1 — 32,8 = 9,3 %), mais dans ce cas la houille semi-brillante présente une composition chimique intermédiaire (M. V. = 37,8 %), car les écarts entre cette dernière et les houilles mates et brillantes sont respectivement de 4,30 % et 5 %.

A tous ces résultats concordants s'opposent, du moins en apparence, ceux de M. HOFFMANN [317] (Tableau XI) qui indiquent des différences importantes entre les teneurs en matières volatiles des trois constituants des houilles sarroises autres que le Fusain. Ces faits qui ne s'observent qu'accidentellement dans les autres houilles et semblent être ici de règle s'expliquent naturellement par le mode de prélèvement utilisé (prises effectuées dans des wagons originaires des différents sièges). Dans ce cas, les prises d'essais proviennent d'un faisceau de veines et de divers points des mêmes veines, de sorte que les différences constatées entre les houilles mates, semi-brillantes et brillantes correspondant à chaque puits ne font qu'exprimer, soit ces faits bien connus et signalés notamment par MM. BARROIS [24], GÉNY [254] et STRAHAN et POLLARD [622] des variations verticales et horizontales des teneurs en matières volatiles dans une même veine de houille, soit cet autre fait très général des variations des teneurs en matières volatiles des veines de houille superposées dans un gisement donné <sup>(1)</sup>.

L'étude des teneurs en cendres des houilles mates, semi-brillantes et brillantes de même provenance (Tableau XIII) conduit sensiblement aux mêmes conclusions que la considération des teneurs en matières volatiles, car si les houilles mates sont souvent plus cendreuses elles ne contiennent généralement que des pourcentages de cendres assez bas parfois très voisins et même inférieurs à ceux des houilles brillante et semi-brillante. D'autre part, ces différences trouvent leur explication, comme je l'ai montré précédemment, dans la richesse en débris organisés des houilles mates.

L'étude comparative des densités vraies montre (Tableau XIII) que celles des houilles mate, semi-brillante et brillante adjacentes sont de même ordre et souvent très voisines. A ce point de vue seul le Fusain semble présenter dans la plupart des cas des densités plus élevées que celles des autres constituants macroscopiques.

Ces analogies des houilles mate, semi-brillante et brillante prélevées côte à côte apparaissent non seulement à l'analyse immédiate, mais se révèlent encore à l'analyse élémentaire qui dans tous les cas étudiés met en évidence (Pl. A, p. 317) des teneurs en carbone, en hydrogène, en oxygène, en azote et en soufre extrêmement voisines et souvent quasi identiques.

(1) En vertu de la loi de Hilt qui, d'après J. CORNET ([137], § 1.115), se vérifie rigoureusement dans chaque faisceau de couche.

Les rapports C/H sont toujours de même ordre puisqu'ils sont respectivement dans les cas où ils ont été déterminés 15,2 : 15,2 : 15,8 (Hamstead), 15,09 : 15,12 : 16,68 (East Kirkby), 18,93 : 20,51 (Winterslag), 19,08 : 19,33 (André Dumont), 19,58 : 19,60 (Limbourg-Meuse).

L'action de la Pyridine <sup>(1)</sup> et des solvants (Pl. A) semble indiquer, à première vue, des différences importantes, les houilles brillantes (Vitains) donnant à l'extraction de fortes proportions de composés  $\beta$  (solubles dans la Pyridine, insolubles dans le Chloroforme) et de composés  $\gamma$  (solubles dans la Pyridine et le Chloroforme). Cependant dans certains cas les pourcentages de résidus d'extraction (composés  $\alpha$ ) peuvent être de même ordre pour les houilles brillante et mate et même pour le Fusain puisqu'ils sont respectivement 95,17 : 96,14 : 95,46 pour la houille de Winterslag (Pl. A, p. 317).

En réalité, les extractions révèlent surtout les grandes différences existant entre plusieurs types d'un même constituant provenant de diverses veines de houille. C'est ainsi que, pour ne citer qu'un seul exemple, les pourcentages des composés  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  peuvent être les suivants pour les houilles brillantes dont les analyses figurent sur le tableau de la planche A.

TABLEAU XIV

RÉSULTATS DE L'EXTRACTION A LA PYRIDINE ET AU CHLOROFORME DE HOUILLES BRILLANTES (VITAINS) D'ORIGINES DIVERSES

NATURE DES COMPOSÉS	Hamstead	East Kirkby	Winterslag	André Dumont	Limbourg Meuse
Composés $\alpha$	65,80 %	85,30 %	95,17 %	78,37 %	72,34 %
Composés $\beta$	25,00 %	10,90 %	1,20 %	7,98 %	7,37 %
Composés $\gamma$	9,20 %	3,80 %	3,63 %	13,65 %	20,28 %

A ce point de vue les divers types de houilles brillantes (Vitains) étudiés diffèrent donc plus les uns des autres que les houilles mate, semi-brillante et brillante associées dans une même houille.

En résumé, l'analyse chimique ne révèle aucun caractère bien défini permettant de distinguer les unes des autres les houilles mate (Durain), semi-brillante (Clarain) et brillante (Vitain) existant côte à côte dans une même veine de houille où elles présentent normalement des com-

(1) Ce procédé d'étude chimique des charbons a été expérimenté sur les houilles du Nord de la France par M. G. DUBOIS [178].



positions chimiques très voisines et souvent quasi-identiques. *En règle générale, les caractères chimiques des trois constituants macroscopiques autres que le Fusain sont en un point donné d'une veine de houille ceux de la couche elle-même.*

### C. — Rapport existant entre les teneurs en matières volatiles de certaines houilles brillantes (Vittrains) et leurs indices de gonflement élevés.

En dernière analyse, les seules différences importantes existant entre les houilles brillantes (Vittrains) et les houilles semi-brillantes (Clarains) et mates (Durains) qui leur sont associées consistent presque uniquement dans les *variations des valeurs des indices agglutinants* et des *indices de gonflement*, différences qui ont été mises en évidence dans le cas de houilles appartenant pratiquement à la catégorie des charbons à coke.

Ces faits résultent des observations de M. DE BOOSERÉ qui ont été faites au cours de distillations ordinaires et de distillations à basses températures (500°) (Tableau de la Pl. A). Les *indices agglutinants* des trois houilles brillantes étudiées sont respectivement 19 : 21 : 21,5 alors que ceux des houilles mates n'atteignent que 7 : 10 : 12,5. Les *indices de gonflement* sont de 3,18 : 4,66 : 4,70 pour les premières et de 1 : 1,12 : 1,04 pour les secondes.

Dans ces conditions, il m'a paru intéressant de rechercher si ces différences subsistent encore et sont aussi marquées en ce qui concerne les constituants macroscopiques des houilles autres que celles qui donnent normalement du coke de bonne qualité.

J'ai utilisé pour cette étude comparative les résultats numériques donnés par M. HOFFMANN qui permettent de tracer des courbes représentant les volumes des cokes des houilles mates, semi-brillantes et brillantes (Figure 76<sup>t</sup>).

Ces courbes ont été établies non pas comme celles similaires du travail de M. HOFFMANN ([317], Fig. 4) en choisissant, lorsqu'il existe deux analyses, les valeurs moyennes, mais en procédant de la façon suivante :

a) Pour les *houilles mates* (Durains) et *semi-brillantes* (Clarains) les volumes de coke sont les *maxima* observés dans les cas où deux analyses ont été faites pour des houilles provenant du même siège.

b) Pour les *houilles brillantes* (Vittrains) les volumes des cokes sont les *minima* obtenus dans les mêmes conditions <sup>(1)</sup>.

Les numéros d'ordre placés en haut du schéma indiquent les provenances telles qu'elles sont données dans le travail original de M. HOFFMANN et les nombres placés en dessous les teneurs en matières volatiles des houilles brillantes. Les teneurs en M. V. des houilles semi-brillantes et mates figurent au bas du graphique. Les chiffres placés à gauche du quadrillage donnent les volumes de coke en centimètres cubes.

L'allure des courbes de la figure 76<sup>t</sup> montre que les 12 types de houilles étudiés peuvent être rangés dans deux groupes distincts.

(1) Il n'y a aucun inconvénient à agir de cette façon, car étant donné le mode de prélèvement employé (choix dans des wagons provenant des douze sièges) les échantillons de chaque siège utilisés dans les analyses doubles peuvent avoir des origines diverses et appartenir à des veines différentes. Les courbes auraient donc pu être construites en utilisant les résultats de toutes les analyses. C'est dans un but de simplification que je n'ai eu recours qu'à douze analyses sur vingt.

I. — GROUPE I. Ce premier groupe comprend les charbons provenant des mines 1 à 6 qui sont caractérisés par le fait que les volumes des cokes des *houilles brillantes* (Vitains) ne sont pas beaucoup plus élevés que ceux des *houilles semi-brillantes* (Clarains). Dans un des cas (Échantillon 4) le volume du coke de houille semi-brillante (4,1) dépasse celui du coke de houille brillante (3,6).

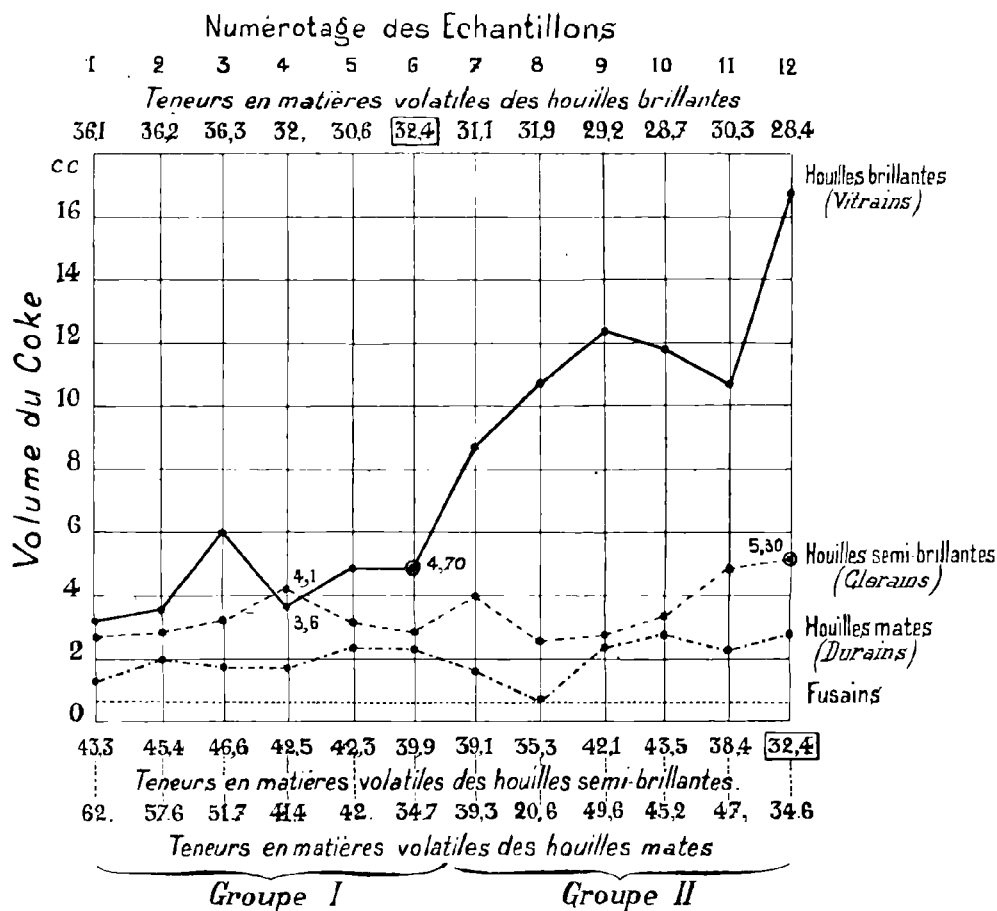


FIGURE 76<sup>t</sup>. — Courbes représentant les variations de volume des cokes obtenus à partir des différents constituants macroscopiques des houilles sarroises (d'après H. Hoffmann).

II. — GROUPE II. Dans ce groupe qui comprend les houilles des mines 7 à 12 les volumes des cokes des *houilles brillantes* (Vitains) sont beaucoup plus élevés que ceux des *houilles semi-brillantes* (Clarains) puisqu'ils dépassent tous 8<sup>cc</sup>, alors que ceux de ces dernières n'atteignent que 5<sup>cc</sup>,30<sup>(1)</sup>.

(1) La comparaison des houilles semi-brillantes (Clarains) et mates (Durains) n'est guère possible, les houilles mates étudiées par M. HOFFMANN se rapportant dans la plupart des cas à des combustibles spéciaux. La houille mate de la mine 8, qui ne contient que 20,6% de M. V. et renferme 38,6% de cendres, est en réalité un schiste bitumineux et les houilles mates des mines 1, 2, 3, 9 et 11 présentent des teneurs en matières volatiles anormalement élevées.

Or, si l'on compare les teneurs en M. V. des houilles brillantes des deux groupes l'on constate que, sauf une exception (Éch. 5 ; 30,6 %), toutes celles du groupe I ont des teneurs en matières volatiles (36,3 % à 32 %) sensiblement supérieures à celles du groupe II (31,9 % à 28,4%). Toutes les houilles brillantes du groupe II se classent donc par leurs teneurs en M. V. parmi les houilles grasses marécales et parmi elles c'est précisément celle qui est la moins riche en matières volatiles (Échant. 12 ; 28,4 %) qui fournit le coke le plus volumineux (16<sup>cc</sup>,70).

De ces considérations l'on peut donc tirer la conclusion que parmi les houilles brillantes sarroises (Vitains) *ce sont celles présentant des teneurs en matières volatiles les plus faibles*, et se rapprochant le plus des houilles à coke, *qui se distinguent nettement des houilles semi-brillantes et mates associées par des volumes de coke beaucoup plus élevés.*

L'examen des courbes de la Fig. 76<sup>t</sup> permet d'autres observations intéressantes.

Parmi les houilles semi-brillantes (Clarains) une seule (Éch. 12) présente une teneur en matières volatiles (32,4 %) voisine de celles des houilles brillantes et se rapproche, par conséquent, des houilles grasses marécales. Or, c'est précisément cette houille semi-brillante qui fournit dans cette catégorie de constituant le coke le plus volumineux (5<sup>cc</sup>30) dépassant même celui (4<sup>cc</sup>7) d'une houille brillante de l'échantillon 6 de même teneur en M. V.

Dans les houilles du groupe I les volumes des cokes des houilles brillantes sont généralement un peu plus élevés que ceux des houilles semi-brillantes bien que dans un cas l'on puisse observer le phénomène inverse (Échant. 4, coke de h. brillante, 3<sup>cc</sup>,6; coke de h. semi-brillante, 4<sup>cc</sup>,1).

Sans que cette règle ait une portée absolue l'on peut donc admettre *qu'à teneurs en matières volatiles voisines les houilles brillantes (Vitains) et les houilles semi-brillantes (Clarains) peuvent donner des volumes de coke sensiblement égaux* ; circonstance qui semble bien indiquer *qu'il existe un certain rapport entre la teneur en matières volatiles d'un constituant donné et son pouvoir cokéfiant.*

Du développement précédent l'on peut donc tirer les conclusions suivantes :

1<sup>o</sup> Il n'existe entre les houilles mate (Durain), semi-brillante (Clarain) et brillante (Vitain) prélevées côte à côte dans une même houille *aucune différence de composition chimique importante.*

2<sup>o</sup> Les houilles brillantes (Vitains) ne se distinguent des houilles semi-brillantes (Clarains) et mates (Durains) que par des indices de gonflement plus élevés. *Toutefois, les différences constatées n'acquièrent une certaine importance que dans le cas où les charbons qui les contiennent sont ou des houilles à coke (18 % < M. V. < 26 %) ou des houilles grasses marécales (26 % < M. V. < 32 %).* Ces différences sont très atténuées dans les charbons à hautes teneurs en M. V. (M. V. > 32 %) et sont nulles dans le cas des combustibles maigres (M. V. < 18 %) où les houilles brillantes et les houilles semi-brillantes sont aussi dépourvues de pouvoir cokéfiant que le Fusain qui leur est associé.

## IV

**Coordination des recherches chimiques et microscopiques****Explication des rôles joués dans la cokéfaction par les substances amorphes et les débris organisés des houilles.**

Les recherches chimiques poursuivies jusqu'à présent ont montré que dans certaines catégories de houilles (houilles à coke et houilles grasses marécales) les constituants macroscopiques autres que le Fusain se distinguent les uns des autres par leur façon de réagir au cours de la cokéfaction.

1<sup>o</sup> Les *houilles brillantes* (Vitains) possèdent des indices de gonflement très élevés et donnent des cokes boursoufflés et très fragiles.

2<sup>o</sup> Les *houilles mates* (Durains), lorsqu'elles existent, donnent au contraire des culots de cokes durs, cohérents, mais surbaissés et peu volumineux.

3<sup>o</sup> Les *houilles semi-brillantes* (Clarains) fournissent suivant les cas soit des cokes analogues à ceux des houilles brillantes et des houilles mates, soit des cokes présentant des propriétés intermédiaires entre ces deux extrêmes.

Tous ces faits d'observation trouvent leur explication dans l'étude microscopique des houilles <sup>(1)</sup> qui a seule permis d'établir les caractères pétrographiques des lits élémentaires des charbons.

**A. — Rôle joué par les substances amorphes des houilles dans les phénomènes de cokéfaction.**

L'étude microscopique montre que les substances organiques amorphes existent non seulement dans les lits de *houille brillante* (Vitain), mais se rencontrent encore en proportions variables dans les *houilles semi-brillantes* (Clarains) et les *houilles mates* (Durains) où elles existent sous forme de ciment ou de pâte enrobant les débris organisés (Voir les Chapitres VIII et XV). Elle met également en évidence que dans certaines houilles (houilles à coke et houilles grasses marécales) les indices de gonflement qui caractérisent ces trois types de lits élémentaires sont directement proportionnels aux pourcentages de substances amorphes existant dans chacun d'eux. Les houilles brillantes constituées uniquement ou presque uniquement par du ciment pur donnent des cokes volumineux, boursoufflés et fragiles, tandis que les houilles mates souvent très pauvres en pâte fournissent des cokes surbaissés peu volumineux et généralement durs. Quant aux houilles semi-brillantes le fait qu'elles peuvent donner suivant les cas des cokes des deux types précédents s'explique également par l'examen microscopique qui montre que certaines d'entre elles très riches en ciment organique sont très voisines des houilles brillantes, tandis que

(1) A. DUPARQUE. — Les caractères pétrographiques des houilles à coke. *C. R. Acad. Sciences*, 195, p. 52, Paris, 1932. (Note ajoutée pendant l'impression).

d'autres pauvres en pâte passent graduellement aux houilles mates. Les variations des pourcentages de ciment amorphe et de débris organisés rendent compte, d'autre part, des qualités très différentes que peuvent présenter les cokes des houilles semi-brillantes entre les deux termes extrêmes se rapprochant et s'identifiant presque avec celles des cokes des deux autres constituants macroscopiques.

Dans les houilles en question, il n'est donc pas douteux que la propriété de donner des cokes volumineux, boursoufflés et fragiles, coïncidant avec des valeurs élevées des indices agglutinants, appartient en propre aux substances amorphes qu'elles soient à l'état de lits indépendants (h. brillante = Vitrain) ou de ciment organique.

Les recherches microscopiques montrent en outre que cette propriété n'appartient qu'à certaines catégories de houilles amorphes, car elle fait complètement défaut aux lits de houille brillante (Vitrain) des combustibles maigres (M.V. < 18%) et n'existe que d'une façon très atténuée dans ceux des houilles à hautes teneurs en matières volatiles (M. V. > 32%).

### B. — Rôle joué par les débris organisés des houilles dans les phénomènes de cokéfaction.

Même dans les cas particuliers où les différences sont très nettes il est inexact de dire, comme on l'a fait souvent, que le pouvoir cokéfiant des houilles brillantes (Vittrains) est exceptionnel car ce constituant employé seul ne donne, dans ces conditions, que des cokes boursoufflés et fragiles auxquels il manque les propriétés essentielles des cokes métallurgiques qui doivent être compacts et cohérents de façon à pouvoir résister à l'écrasement sous le poids du minerai.

La formation des cokes métallurgiques est donc subordonnée à la présence dans ces charbons, à côté des substances amorphes qui jouent le rôle essentiel dans l'agglutination, des débris organisés qui en s'opposant au gonflement exagéré du coke lui permettent d'acquiescer les qualités de compacité et de résistance à l'écrasement qui le caractérisent.

L'étude microscopique des houilles à coke <sup>(1)</sup> permet même de se rendre compte que ce rôle particulièrement important des débris organisés semble être rempli d'autant mieux que les dits débris sont eux-mêmes complètement dépourvus de pouvoir agglutinant.

Dans nos régions les houilles à coke qui sont caractérisées par des teneurs en matières volatiles comprises entre 26 et 18% sont, en règle générale (Pl. XLVI, Fig. 224), des charbons lignocellulosiques très riches en ciment amorphe, mais contenant en plus fortes proportions que tous les autres types de houilles un élément totalement dépourvu de pouvoir agglutinant et de caractères nettement anthraciteux, le Fusain. Les lits de houille amorphe (Vitrain) n'y sont pas plus nombreux que dans les houilles très grasses (M. V. > 26%) et sont beaucoup moins abondants que dans les charbons maigres (M. V. < 18%).

Dans ces combustibles la propriété de donner un bon coke métallurgique est donc liée à la présence d'un ciment très abondant à pouvoir agglutinant élevé et de débris organisés (Fusain) totalement dépourvus de pouvoir cokéfiant, mais répartis très régulièrement dans la masse de

(1) Le terme « houille à coke » est pris ici dans le sens strict qu'il avait dans les anciennes classifications (notamment dans celle de GRUNER) de charbon donnant normalement dans les conditions ordinaires des cokes métallurgiques. (Voir plus loin, chapitre XVII<sup>e</sup>.)

cette pâte colloïdale, le *mélange intime des éléments actifs (houille amorphe) et inerte (Fusain) jouant, selon toute vraisemblance, un rôle prépondérant dont dépend dans une certaine mesure la qualité du coke obtenu.*

Les considérations précédentes permettent d'expliquer certains faits d'observation courante. L'on sait, en particulier, que certaines houilles traitées à l'état brut fournissent des cokes médiocres alors que ces mêmes houilles broyées donnent des cokes de bonne qualité. Le broyage qui opère une homogénéisation de la masse a pu dans ce cas réaliser le mélange intime des éléments actifs et inertes qui faisait défaut au combustible naturel.

L'on a également maintes fois constaté que des charbons présentant des teneurs en matières volatiles voisines, qui semblent indiquer des compositions chimiques quasi semblables, réagissent très différemment à la cokéfaction et donnent des cokes de qualités très diverses. Ces anomalies s'expliquent facilement si l'on considère que les mêmes teneurs globales en matières volatiles peuvent coïncider avec des compositions lithologiques non identiques. Dans les houilles à coke *stricto sensu* cette teneur globale est la résultante de celles très différentes des substances amorphes et du Fusain anthraciteux, tandis que dans certaines houilles de cutine amaigries par des actions secondaires la teneur globale de même ordre résulte des pourcentages en M.V. très voisins d'une pâte peu abondante et de débris organisés très différents du Fusain <sup>(1)</sup>. Ces dernières peuvent donc, malgré l'identité des teneurs en M. V., *ne pas contenir les quantités convenables de ciment amorphe (élément actif) et de débris organisés maigres (élément inerte)* qui jouent des rôles très divers, mais néanmoins essentiels dans le développement des phénomènes de la cokéfaction.

De ce qui précède l'on peut donc conclure que les houilles à coke *stricto sensu* sont dans le Nord de la France *des mélanges naturels très intimes d'un élément actif (ciment organique amorphe) doué d'un pouvoir agglutinant et d'un indice de gonflement élevés et d'un élément inerte (Fusain) dépourvu de tout pouvoir cokéfiant*, mais jouant, néanmoins, un rôle essentiel au cours des phénomènes de cokéfaction. *Ce rôle paraît être de nature surtout mécanique*, l'action du Fusain très régulièrement distribué dans la masse du charbon (Pl. XLVI, Fig. 224) enrayant simplement le gonflement exagéré de l'élément actif et empêchant la formation d'un coke boursouflé et trop fragile.

## V

### Conclusions pratiques

Les conclusions pratiques que l'on peut tirer de l'étude des constituants macroscopiques des houilles ne peuvent être mises en évidence que par des recherches microscopiques qui permettent seules de coordonner les résultats obtenus dans les autres domaines de recherches. Ces conclusions peuvent être résumées de la façon suivante :

(1) Dans ce cas les débris organisés sont presque uniquement des spores ou des cuticules dont les teneurs en matières volatiles sont très voisines de celles des ciments amorphes qui les enrobent, car dans les différents types de houilles bitumineuses l'étude chimique montre que les houilles brillantes (Vitains) formées de ciment pur, les houilles semi-brillantes (Clarains) riches en ciment et les houilles mates (Durains) très riches en spores et en cuticules prélevées côte à côte présentent des teneurs en M. V. extrêmement voisines.

1° Les seules différences appréciables et importantes que l'on peut observer dans certains cas bien déterminés entre les constituants macroscopiques des houilles autres que le Fusain se réduisent presque exclusivement au fait que les houilles brillantes (Vitains) possèdent des indices agglutinants et des indices de gonflement beaucoup plus élevés que les houilles semi brillantes (Clarains) ou mates (Durains) qui leur sont associées. Ces houilles brillantes particulières traitées à l'état isolé ne donnent pas un coke de bonne qualité, mais un coke volumineux, boursoufflé et très fragile, essentiellement différent des cokes métallurgiques obtenus normalement à partir des houilles qui les contiennent.

Il n'est donc pas exact de dire que ces houilles brillantes ont des pouvoirs cokéfiant élevés puisque le coke qu'elles fournissent est de moins bonne qualité que celui de la houille encaissante.

2° Il n'existe de différences appréciables et importantes entre les houilles brillantes (Vitains) et les houilles semi-brillantes (Clarains) ou mates (Durains) associées dans un même charbon que dans les combustibles appartenant aux catégories des houilles à coke ( $18\% < M. V. < 26\%$ ) et des houilles grasses maréchaux ( $26\% < M. V. < 32\%$ )<sup>(1)</sup> des anciennes classifications, c'est-à-dire dans les variétés de charbons qui donnent normalement des cokes de bonnes qualités et où, par conséquent, la question de la séparation des constituants macroscopiques ne paraît pas devoir se poser puisque dans ce cas la nature elle-même a réalisé le mélange le plus favorable que l'on puisse souhaiter<sup>(2)</sup>.

3° L'étude microscopique des houilles à coke du Nord de la France fournit par contre des indications susceptibles d'être utilisées ultérieurement dans les recherches qui auront pour but de déterminer scientifiquement les caractères des mélanges artificiels de houilles différentes employés dans la fabrication des cokes métallurgiques.

## CONCLUSIONS DE L'ÉTUDE MACROSCOPIQUE DES HOUILLES

Je ne reviendrai pas ici sur les conclusions pratiques figurant à la fin du chapitre précédent, qui ont un caractère très particulier et montrent nettement l'importance que l'on doit attacher au point de vue technique à la distinction des constituants macroscopiques des houilles.

Je me bornerai à rappeler dans ce développement quelques conclusions générales qui ne devront pas être perdues de vue dans les recherches ultérieures.

1° Des quatre constituants macroscopiques seul le Fusain correspond à une entité parfaitement définie en ce sens qu'il représente dans toutes les houilles un véritable anthracite d'origine ligneuse.

2° Les houilles mates (Durains), les houilles semi-brillantes (Clarains) et les houilles brillantes (Vitains) ne correspondent pas à des entités à caractères pétrographiques et chimiques bien

(1) Il est intéressant de rappeler ici que HILT groupait sous le nom de houilles grasses à coke les charbons renfermant de 15,5% à 33,3% de matières volatiles et qu'en Allemagne on réunit sous l'appellation de *Fettkohle* des combustibles contenant de 21% à 33% de M. V., c'est-à-dire des ensembles correspondant sensiblement au groupement « houilles à coke - houilles grasses maréchaux ».

(2) Ce sont ces houilles à coke qui constituent en proportions variables les bases de tous les mélanges cokéfiables utilisés dans la fabrication du coke métallurgique, mélanges où leur présence paraît être indispensable.

*définis*, les propriétés qu'ils présentent étant toujours en rapport avec la nature du charbon de la veine de houille au point considéré.

3<sup>o</sup> Les houilles brillantes, semi-brillantes et mates prélevées en un même point d'une veine de houille *présentent entre elles de grandes analogies pouvant aller jusqu'à une quasi identité*, alors que des échantillons d'un même constituant (de houille brillante par ex.) recueillis dans plusieurs veines ou en divers points d'une même veine *peuvent être de natures essentiellement différentes*.

4<sup>o</sup> Les termes houille brillante, houille semi-brillante, houille mate, ou leurs équivalents (Vitrain, Clarain, Durain etc...), *ne sont donc que des appellations commodes servant à désigner respectivement des aspects semblables qui peuvent cacher sous des apparences identiques des caractères pétrographiques et chimiques complètement différents*.

5<sup>o</sup> La détermination exacte des houilles brillante, semi-brillante et mate et la mise en évidence de leurs caractères spécifiques *suppose avant tout une étude microscopique sérieuse seule capable de fixer les caractères paléontologiques et lithologiques qui leur sont propres et de fournir des indications précises sur leur origine et leur mode de formation*.

En résumé, *l'étude macroscopique des houilles n'a d'intérêt qu'autant qu'elle est complétée par une étude microscopique sérieuse à laquelle elle ne peut dans aucun cas être substituée*.

*Employée seule cette étude macroscopique des charbons est incapable de fournir à certaines recherches, notamment aux recherches chimiques, un matériel d'étude bien défini, car en l'absence d'examen microscopique il subsistera, dans la plupart des cas, des doutes sérieux sur l'identité réelle des constituants que l'on prétend comparer, ces doutes étant alors les corollaires obligatoires de l'imprécision des méthodes d'investigation employées (examen à l'œil nu ou à la loupe)*.

En dernière analyse, toutes les nomenclatures macroscopiques des houilles ne peuvent viser à autre chose qu'à faciliter le langage courant dans la description morphologique des charbons. La meilleure d'entre elles est celle qui ne dérobe pas sous le voile des mots des réalités connues de tous ceux qui ont observé des fragments de houille. C'est pour cette raison que j'ai cru devoir préconiser à nouveau l'emploi des termes *houille brillante, houille semi-brillante et houille mate* qui se définissent d'eux-mêmes.



TROISIÈME PARTIE

CLASSIFICATION PÉTROGRAPHIQUE DES HOUILLES

SOMMAIRE

CHAPITRE XVII<sup>e</sup>. — Les caractères pétrographiques des veines de houille.

CHAPITRE XVIII<sup>e</sup>. — Les caractères chimiques des veines de houille.

CHAPITRE XIX<sup>e</sup>. — Classification lithologique et chimique des houilles du Nord de la France.

CHAPITRE XX<sup>e</sup>. — Répartition des différents types pétrographiques de charbons dans le Bassin houiller du Nord de la France.

CHAPITRE DIX-SEPTIÈME

Les Caractères pétrographiques des Veines de houille

SOMMAIRE

I. — DESCRIPTION DES DIVERS TYPES LITHOLOGIQUES DE HOUILLE. — A. — *Les charbons de cutine.* — a) Les charbons de spores. — b) Les charbons de cuticules. — B. — *Les charbons ligno-cellulosiques.* — a) Type ligneux. — b) Type cellulosique.

II. — HOMOGÉNÉITÉ PÉTROGRAPHIQUE DES VEINES DE HOUILLE DANS LEUR ÉPAISSEUR.

I

Description des types lithologiques de houilles

Les houilles du Nord de la France, comme du reste toutes les houilles paléozoïques que j'ai examinées jusqu'ici, présentent le caractère commun *d'être des roches très régulièrement stratifiées formées par empilement des lits élémentaires que l'on a pris l'habitude, au cours de ces dernières années, de désigner sous le nom de constituants macroscopiques des charbons*, lits élémentaires qui ont été décrits dans les chapitres précédents (Ch. XIV<sup>e</sup> à XVI<sup>e</sup>).

Les *houilles rayées* (Streifenkohle, banded coals) ne représentent qu'un cas particulier où la superposition de lits élémentaires à aspects très différents rend la stratification particulièrement nette et la laisse apparaître au premier coup d'œil. En réalité, toutes les autres houilles,

même celles qui comme les anthracites et les houilles anthraciteuses paraissent posséder à première vue une structure compacte, se révèlent à un examen attentif comme étant constituées par la superposition de lits si semblables les uns aux autres que leurs limites peuvent échapper à un observateur non averti.

Parfois, l'aspect homogène de certaines houilles est dû uniquement au développement des cassures particulières qui peuvent masquer, comme je l'ai dit précédemment (Chapitre XII<sup>e</sup>), la structure réelle de la roche combustible et faire croire à tort à une absence totale de stratification et à une structure compacte.

Presque toujours, il est facile à un œil exercé de reconnaître la stratification des houilles d'aspect homogène. *Dans tous les cas cette stratification apparaît très nettement dans les surfaces simplement polies* grâce à la mise en évidence des minces fragments de Fusain étalés parallèlement au plan de stratification.

Au point de vue macroscopique, si l'on fait abstraction de différences d'aspects qui permettent aux mineurs ou à ceux qui manipulent journellement des houilles de reconnaître au juger <sup>(1)</sup> les grands types chimiques de houille, l'on arrive à cette conclusion que les houilles bitumineuses (M. V. > 26%) présentent plus de ressemblance avec les combustibles maigres (M. V. < 18%) qu'avec les houilles à coke (18% < M. V. < 26%) dont la composition chimique est intermédiaire entre les deux types extrêmes. Comme nous le verrons bientôt, il n'y a là qu'un *phénomène de convergence* qui tient uniquement à l'existence d'un caractère commun à ces deux types extrêmes qui sont pour des raisons différentes plus compacts que le type que l'on considère ordinairement comme une forme de passage de l'un à l'autre.

Dans le domaine de la classification des houilles, comme dans celui de la définition des constituants macroscopiques des charbons, les méthodes d'investigation macroscopique (examen à l'œil nu ou à la loupe) se révèlent nettement insuffisantes et perdent toute efficacité quand elles ne sont pas suivies de recherches microscopiques sérieuses.

Ces recherches microscopiques montrent qu'une classification lithologique des houilles ne peut être basée que sur leurs caractères paléontologiques, seule l'étude de la distribution dans les diverses veines de houille des différents types de débris organisés qui ont été décrits dans les Chapitres V à VII permettant d'y distinguer deux grands types pétrographiques se subdivisant eux-mêmes en deux types secondaires. Nous serons ainsi amenés à définir successivement :

A. — Les houilles ou charbons de cutine comprenant les charbons de spores et les charbons de cuticules.

B. — Les houilles ou charbons lignocellulosiques parmi lesquels il y a lieu de distinguer un type ligneux ou charbons lignocellulosiques à tissus ligneux nombreux et bien conservés et un type cellulosique ou charbons lignocellulosiques à tissus ligneux rares et altérés.

Dans toutes ces houilles il existe un constituant semblable représenté par les substances organiques amorphes qui ont été décrites dans le chapitre VIII<sup>e</sup> et forment dans tous les cas le ciment qui réunit les débris végétaux régulièrement stratifiés dans la masse de la roche combustible.

(1). Cette distinction ne peut être faite qu'à la longue et grâce à une certaine habitude, elle repose sur l'usage de caractères qu'il serait difficile de définir d'une façon précise et manque d'ailleurs elle-même dans bien des cas de précision suffisante.

## A. — Les houilles ou charbons de cutine

PLANCHES I A XVIII, XL A XLV.

### α. — Caractères généraux des houilles de cutine

Ces houilles sont caractérisées par l'*extrême abondance des débris organisés cutinisés* (spores, cuticules) dont la fréquence contraste avec la *rareté relative* des autres débris végétaux (tissus ligneux, corps résineux).

Ce sont les seuls combustibles paléozoïques où l'on rencontre d'une façon à peu près constante des lits de *houille mate* (Durain) dans le sens propre du terme. Ce n'est donc guère que parmi elles qu'il est possible d'observer des charbons à quatre constituants macroscopiques.

La présence fréquente de lits de houille mate souligne souvent leur aspect stratifié et la plupart des houilles rayées (banded coals, Streifenkohle) doivent leur être attribuées (Pl. XLII, Fig. 216).

#### 1° CARACTÈRES MACROSCOPIQUES

PLANCHES XL A XLV

Au point de vue macroscopique les charbons de cutine sont constitués par la superposition en quantités très variables de lits élémentaires de houille mate (Durain), de houille semi-brillante (Clarain) et de houille brillante (Vitrain) alternant avec des masses lenticulaires de Fusain.

La *houille mate* s'y rencontre en lits d'épaisseurs très variables allant du simple filet, dont la puissance est de l'ordre du dixième de millimètre (Pl. XL, Fig. 212 ; Pl. XLII, Fig. 216, Hm), aux couches massives épaisses de plusieurs centimètres et dépassant parfois un décimètre (Pl. XL, Fig. 210 ; Pl. XLI, Fig. 214 ; Pl. XLV, Fig. 222 et 223). Très pauvre en ciment amorphe (pâte ou substance fondamentale) elle est, au contraire, très riche en spores et en cuticules auxquelles se trouvent associés en quantité beaucoup moindre des corps résineux et des débris de tissus ligneux le plus souvent gélifiés (Xylain, Xylovitrain), mais parfois transformés en houille mate fibreuse (Fusain).

La *houille semi-brillante* ne se distingue de la précédente que par un éclat assez vif dû au développement important du ciment amorphe colloïdal et la présence en quantités beaucoup moindres des mêmes débris organisés parmi lesquels prédominent nettement les spores et les cuticules. Ses lits présentent les mêmes variations de puissance que ceux de houille mate (Pl. XLIII et XLIV, Fig. 218 à 221).

La *houille brillante* se rencontre presque toujours sous forme de lits minces tels que ceux observables sur les figures 216, 218, 221, 223 (Pl. XLII à XLV) qui sont de véritables filets, elle forme également des lits plus épais (Fig. 212, 222, Pl. XL et XLV) dont la puissance ne dépasse guère plusieurs millimètres que dans des cas exceptionnels.

Le *Fusain* ou houille mate fibreuse d'origine ligneuse est relativement rare dans les houilles de cutine où il est beaucoup moins fréquent que dans certaines houilles ligno-cellulosiques. On

le rencontre surtout sous forme de masses lenticulaires (F, Fig. 219, 222 et 223, Pl. XLIII et XLV) isolées dans l'épaisseur des lits de houille mate ou semi-brillante, à leurs limites respectives ou au contact des lits de houille brillante. Très rarement, il se présente à l'état de lits continus formés de masses lenticulaires juxtaposées avec ou non une interposition de minces filets de ciment amorphe.

Les *tissus ligneux gélifiés* (Xylain et Xylovitrain) sont parfois assez fréquents (T<sub>1</sub>, Fig. 215, 217, Pl. XLI et XLII) et présentent exactement les mêmes modes de gisement que le Fusain.

Tous les lits élémentaires de houille mate, de houille semi-brillante, de houille brillante et éventuellement ceux formés par de nombreuses masses de Fusain ont des formes lenticulaires en ce sens que malgré leur étendue, qui peut être de l'ordre de plusieurs mètres, ils se terminent toujours latéralement en pointes comme les lits très minces de la figure 216 (Pl. XLII). En règle générale, ces lits alternent très régulièrement comme ces derniers et leur stratification très fine ne se trouve dérangée que lorsque l'on constate la présence, comme dans le cas de la figure 217 (Pl. XLII), de masses lenticulaires de tissus ligneux (T<sub>2</sub>, T<sub>4</sub>) de dimensions relativement importantes.

Dans leur ensemble les charbons de cutine, où dominent nettement les lits de houille mate et de houille semi-brillante, sont des charbons compacts divisés seulement par des fentes de retrait intéressant plusieurs lits élémentaires et déterminant leur fragmentation en « gaillettes » parallépipédiques (Fig. 215, Pl. XLI) (*Voir à ce sujet le Chapitre X<sup>e</sup>*).

Certains lits de houille mate des charbons de cutine ont un grain très fin et passent aux *Cannel-coals* (gayets) dont ils se rapprochent à la fois par leurs caractères pétrographiques et leur composition chimique.

## 2<sup>o</sup> CARACTÈRES MICROSCOPIQUES

### PLANCHES I A XVIII

Alors que les caractères macroscopiques que je viens d'énumérer peuvent être extrêmement voisins de ceux de certaines houilles ligno-cellulosiques, les caractères microscopiques ne prêtent à aucune équivoque et permettent une distinction certaine de cette variété de charbon paléozoïque.

A ce point de vue leur caractère essentiel est la présence, en grande abondance, dans les lits de houille mate (Durain) et de houille semi-brillante (Clairain) de débris végétaux cutinisés représentés par des *macrospores*, des *microspores* et des *cuticules* dont la description détaillée a été donnée dans le chapitre V<sup>e</sup>. Comme le montrent les figures des planches XL à XLV et surtout celles des planches I à XVIII les exines cutinisées des cellules reproductrices des plantes houillères et les peaux externes de leurs feuilles représentent en nombres et en volumes les débris organisés de beaucoup les plus abondants de ce genre de roche combustible.

Les *corps résineux* qui ont été décrits dans le chapitre VI<sup>e</sup> bien qu'étant plus nombreux dans les houilles de cutine que dans les houilles ligno-cellulosiques ne forment, comme le montrent les figures que je viens de citer et aussi les figures des planches XIX à XXVI, que des *quantités négligeables des débris organisés* eu égard au nombre des spores et des cuticules.

Quant aux débris de *tissus ligneux* s'ils font rarement défaut dans les houilles de cutine

l'on peut constater à l'examen des figures des planches XL à XLV et I à XXVI qu'ils n'ont joué que des rôles infimes dans la genèse de ce type de houille comparativement à ceux des substances cutinisées.

Dans les houilles de cutine le Fusain relativement rare peut exister à l'état de débris microscopiques, mais il est souvent remplacé par des fragments de *tissus ligneux gélifiés* (Xylain ou Xylovitrain) qui présentent les mêmes modes de gisement que les tissus ligneux transformés en houille mate fibreuse (Fusain) comme le montrent, notamment, les figures 23 (Pl. V), 30, 33 (Pl. VII), 196, 197 (Pl. XXXVII), 200 (Pl. XXXVIII), 215 et 216 (Pl. XLI et XLII).

Dans ces charbons les masses de bois gélifiées, de même que les corps résineux volumineux (Fig. 98, 99, [Pl. XIX], 102 à 106 [Pl. XX]), ont été parfois confondues avec des amas de ciment amorphe (houille brillante) dont elles ont l'éclat vif et l'aspect homogène.

Tous ces débris organisés sont très régulièrement stratifiés dans un *ciment amorphe* ou pâte rare dans les houilles mates (Hm, Fig. 18, 19, 21, 22, Pl. V) et bien développés dans les houilles semi-brillantes (Hs, Fig. 20 et 21). Dans les houilles brillantes formées généralement de ciment pur ces mêmes débris végétaux peuvent exister en petites quantités (Fig. 21, Hb, 23, Ms<sub>1</sub> [Pl. V], 48 [Pl. IX], 124, 125 [Pl. XXIV]) et leur présence atteste alors la formation à partir d'un gel colloïdal des lits en question.

Le ciment organique des houilles de cutine présente exactement le même aspect que celui des houilles ligno-cellulosiques, mais en diffère chimiquement, comme le montrent les analyses des lits de houille brillante (Vitrain) de ces deux variétés de roches combustibles (*Voir à ce sujet le Chapitre XVI*), ces différences s'expliquant par leur origine à partir des substances albuminoïdes et des substances de réserve des spores et des feuilles des plantes houillères. (*Voir Chap. VIII<sup>e</sup>, p. 166*).

Je me bornerai ici à cette rapide description des caractères microscopiques des houilles de cutine en renvoyant le lecteur aux chapitres V<sup>e</sup>, VI<sup>e</sup> et VII<sup>e</sup> où se trouvent décrits en détail les caractères microscopiques des débris organisés des charbons.

### β. — Les différents types de houilles de cutine

L'étude microscopique des houilles de cutine permet d'y reconnaître *deux types lithologiques distincts, mais de compositions chimiques semblables*.

#### a. — Les Charbons de Spores.

##### PLANCHES I A XI, XL A XLIII

Ce type est de beaucoup le plus fréquent. Il est caractérisé par *l'extrême abondance* dans les lits de houille semi-brillante et surtout de houille mate des *exines de microspores* qui représentent, aussi bien en nombre qu'en masse, les débris organisés dominants auxquels se trouvent associées *de nombreuses exines de macrospores*.

A ces exines de spores, qui sont surtout représentées à grossissement moyens et forts sur les figures des planches I à XI, viennent s'ajouter des *corps résineux* (Fig. 24, 25, 27 [Pl. VI], 98 à 115, 120, 121 à 125 [Pl. XIX à XXIV]) et des *débris de tissus ligneux* (Fig. 23 [Pl. V], 28,

30 et 33 [Pl. VII], 37 [Pl. VIII], 196, 197 [Pl. XXXVII], 200 [Pl. XXXVIII], 215 et 217 [Pl. XLI et XLII]) le plus souvent gélifiés, mais pouvant également se rencontrer à l'état de Fusain.

Les figures exécutées à faibles grossissements (macrophotographies) notamment les figures 208, 210, 214, 215, 216, 218 et 219 (Pl. XL à XLIII) montrent bien les caractères généraux des houilles de spores, le rôle nettement prépondérant joué par les exines des cellules reproductrices dans leur genèse et les rôles très secondaires des corps résineux et des tissus ligneux.

Les lits de houille mate, très riches en spores (Fig. 208 à 210, 214 à 216), et les lits de houille semi-brillante où ces organites sont moins nombreux (Fig. 218 et 219) contiennent des proportions variables de houille amorphe (ciment ou pâte colloïdale) qui forme à elle seule toute la masse des lits de houille brillante (Fig. 216, 218).

Dans toutes les figures citées l'on peut constater le caractère très finement stratifié de tous les débris organisés et des lits élémentaires qui les contiennent.

Certains lits de charbon de spores à grain très fin prennent l'éclat soyeux et passent aux *cannel-coals* (gayets), ils présentent alors des teneurs en matières volatiles élevées intermédiaires entre celles des houilles proprement dites et les charbons spéciaux. (*Voir Chapitre XVI*°).

## b. — Les charbons de cuticules

### PLANCHES XII à XVIII, XLIV ET XLV

Dans ces charbons, comme dans les charbons de spores, les débris organisés dominants sont représentés presque toujours par des *exines de microspores*. Par contre, les exines de macrospores sont remplacées par des *cuticules* ou peaux cutinisées des feuilles des plantes houillères. Dans certaines houilles de cuticules (Fig. 82 à 86, Pl. XVI) les microspores font parfois presque complètement défaut, la roche combustible étant alors constituée par des empilements de cuticules. Ces cuticules peuvent représenter des sections complètes de feuilles (Fig. 58 à 64, Pl. XII) ou être réduites à l'état de débris plus ou moins morcelés comme ceux que l'on observe sur beaucoup de figures des planches XII à XVIII.

Les *corps résineux* se rencontrent assez fréquemment dans les houilles de cuticules (Fig. 60, Pl. XII ; 108, Pl. XXI ; 220, lit LL<sub>1</sub> de la Fig. 221, Pl. XLIV, etc.) où ils n'existent jamais en très grande abondance, de même que les *tissus ligneux* qui offrent les caractères de ceux des charbons de spores, mais sont ordinairement encore moins nombreux que dans ces derniers.

Les figures 220 à 223 (Pl. XLIV et XLV) et 257 (Pl. LII) montrent bien l'aspect d'ensemble des charbons de cuticules où l'étalement des peaux externes cutinisées des feuilles des végétaux houillers souligne très nettement la stratification extrêmement fine de la roche combustible, caractère bien visible sur les Fig. 220 et 221 et que l'on observe encore parfaitement sur certaines figures exécutées à grossissement moyen (Fig. 74, 76, 77, 82, 86, 88, 89 [Pl. XIV à XVII], etc...).

Cette stratification est nettement soulignée par des alternances de lits de houille mate très riches en cuticules et en microspores ou en débris de cuticules (Hm, Fig. 222, 223, Pl. XLV), de houille semi-brillante assez riches en pâte (Fig. 220, 221, Pl. XLIV) et de houille brillante (Fig. 221 à 223) constituée entièrement par le ciment amorphe. Le Fusain (Fig. 222 et 223) et les tissus ligneux gélifiés y sont relativement rares.

### c. — Charbons de cutine à caractères mixtes.

Les cuticules existent comme éléments accessoires dans les charbons de spores de même que les macrospores se rencontrent presque toujours en petit nombre dans les charbons de cuticules qui en sont rarement complètement exempts.

Dans certains cas les débris végétaux cutinisés caractéristiques des deux types de houilles de cutine peuvent coexister en quantités à peu près égales dans un même charbon qui doit alors être considéré comme un *type mixte* dont les figures 58a à 58c (Pl. XII), 81 (Pl. XV), 25a et b (Pl. LII) offrent des exemples très nets.

Cette particularité est intéressante à signaler car en montrant qu'il existe toutes les formes de passage entre les charbons de spores et les charbons de cuticules elle met en évidence que ces deux types extrêmes de houille de cutine doivent leur existence à un *classement d'ordre mécanique* des macrospores et des cuticules dont les coefficients de flottabilité sont différents.

Dans la pratique, ce troisième type de charbon de cutine présente moins d'intérêt car suivant les points considérés il peut facilement être rapporté à celui des deux types extrêmes dont il se rapproche le plus.

## B. — Les houilles ou charbons ligno-cellulosiques

PLANCHES XXVII à XXXIX, XLVI à XLIX et LVI.

Ces charbons comprennent deux types pétrographiques dont la distinction a une tout autre signification que celle des divers types de charbons de cutine que nous venons d'étudier.

Les divers types de charbons de cutine, notamment les deux types extrêmes des charbons de spores et des charbons de cuticules, ne diffèrent les uns des autres que par la nature de certains de leurs débris organisés. Par contre, ils sont quasi identiques les uns aux autres quant à leurs aspects macroscopiques et à leur composition chimique et, comme nous le verrons bientôt, quant à leurs conditions de gisement.

*Au contraire, les deux types de charbons ligno-cellulosiques ont des aspects macroscopiques distincts, des compositions chimiques différentes et se rencontrent, en règle générale, en des points éloignés des veines de houille; leur association dans l'épaisseur d'une couche de roche combustible étant un fait assez rarement observé.*

Pratiquement, bien que présentant des caractères communs les deux types de houille ligno-cellulosiques *forment deux groupes nettement distincts*, aussi distincts l'un de l'autre que chacun d'eux ne l'est des houilles de cutine.

Toutes les houilles ligno-cellulosiques présentent, néanmoins, ces caractères communs de *contenir presque uniquement des débris végétaux d'origine ligneuse* qui se trouvent cimentés par une *pâte formée surtout à partir des substances cellulosiques* (Voir Chapitre VIII<sup>e</sup>).

**a. — Les Charbons ligneux ou charbons ligno-cellulosiques à tissus ligneux nombreux et bien conservés.**

PLANCHES XXVII A XXXIX, XLVI ET LVI

En règle générale, ce type de houille ligno-cellulosique est caractérisé par la fréquence des masses lenticulaires de Fusain et de tissus ligneux gélifiés. (Fig. 224 et 267, Pl. XLVI et LVI). Ces débris organisés souvent très abondants sont noyés dans un ciment végétal généralement bien développé et occupant un volume sensiblement égal à celui des fragments de bois.

Le Fusain, qui représente le type de débris végétaux de beaucoup le plus fréquent, se rencontre sous forme de lames ou de masses lenticulaires telles que celles que l'on peut observer sur la plupart des figures des planches XXVII à XXXI et qui ont été décrites dans le chapitre VII<sup>e</sup>. Il peut présenter des structures cellulaires très nettes (Fig. 148, 149, 153 à 156, etc...) ou offrir, au contraire, de beaux exemples de structures étoilées (structure en arcs = Bogenstruktur) (Fig. 157 à 169). On le trouve également sous forme de menus débris tels que ceux des figures 173 et 183.

Les tissus ligneux gélifiés (Xylain et Xylovitrain) se rencontrent surtout à l'état de menus débris tels que ceux visibles sur la plupart des figures des planches XXXIV à XXXVI, mais existent également sous forme de lames ou de masses lenticulaires (Fig. 194, 195, 198 à 207) analogues à celles que montre le Fusain.

Les corps résineux sont moins nombreux dans ces charbons que dans les houilles de cutine. On les rencontre le plus souvent isolés au milieu du ciment amorphe (Fig. 118, 119, 131, 136, 148 etc...) où ils voisinent avec les débris de tissu ligneux, mais on les trouve encore inclus dans la masse de certains fragments de bois (Fig. 116, 117). Ils ont joué, tout au moins en tant que débris organisés, des rôles très secondaires dans la genèse de ces houilles ligno-cellulosiques.

Les spores et les cuticules sont normalement défaut dans les houilles ligno-cellulosiques en question, on ne les rencontre que très rarement isolées au milieu des tissus ligneux et on ne les observe guère en petit nombre que dans certains types de houille tel que celui de la Fig. 30 (Pl. VII) qui représente un type rare intermédiaire entre les charbons ligno-cellulosiques et les charbons de spores.

Tous les débris végétaux, quel que soit leur volume, sont étalés parallèlement à une direction unique et nettement stratifiés dans un ciment amorphe colloïdal qui ne diffère pas, quant à son aspect, de celui des houilles de cutine, mais qui présente par contre des compositions chimiques toutes différentes qui attestent une tout autre origine. Comme nous l'avons vu précédemment (Chap. VIII<sup>e</sup>, p. 166), il y a tout lieu de croire que dans les houilles ligno-cellulosiques du type ligneux cette pâte provient surtout de la désintégration des tissus cellulaires qui accompagnaient dans les plantes houillères les tissus ligneux dont nous retrouvons dans leur masse un grand nombre de vestiges fossilisés.

Dans certains types plus rares de houilles ligno-cellulosiques à nombreux tissus ligneux (Fig. 225, Pl. XLVI) le Fusain peut être presque complètement remplacé par des masses de tissus ligneux gélifiés (Xylain ou Xylovitrain) qui coexistent alors avec des mêmes débris analogues, mais de plus petites dimensions.



Ces charbons sont surtout constitués par la superposition de lits de *houille semi-brillante* (Clarain) riches en menus débris de Fusain et de bois gélifié (Hs, Fig. 224 et 225). Ces lits d'une certaine épaisseur alternent avec des lits plus minces de *houille brillante* (Vitrain) (Hb, Fig. 224) dont la fréquence est fort variable. Le *Fusain* forme également des bandes à allure lenticulaire marquant la limite des lits de houille brillante et semi-brillante adjacents. Tels sont les grands fragments de Fusain F que l'on peut observer entre les lits Hb et Hs de la figure 225.

Les lits de *houille mate* (Durain) font complètement défaut <sup>(1)</sup> dans ce genre de combustibles où les bandes ternes représentent toujours des lits très cendreaux tels que ceux des figures 280 à 289 (Pl. LIX et LX), lits qui ne sont pas constitués par des houilles proprement dites, mais par des véritables schistes charbonneux.

La présence de nombreuses fentes de retrait verticales dans les houilles brillantes et semi-brillantes de ces charbons ligno-cellulosiques à nombreux tissus ligneux (Fig. 224, 267, etc...) leur confère une fragilité plus grande que celle des autres types de houille. (*Voir Chapitre X<sup>e</sup>*).

Ces charbons qui contiennent ordinairement entre 26 et 18% de matières volatiles sont ceux qui renferment les plus grandes quantités de Fusain qui est, comme nous l'avons vu (Chapitre XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup>), un constituant de nature anthraciteuse.

#### **b. — Les Charbons cellulosiques ou charbons ligno-cellulosiques à tissus ligneux rares et altérés.**

##### PLANCHES XLVII A XLIX

Ces charbons se rapprochent des précédents par *leurs caractères structuraux qui sont en rapport avec l'identité des débris végétaux dominants* (tissus ligneux) et *l'abondance de leur ciment organique* (pâte ou substance fondamentale), mais s'en distinguent nettement par des caractères microscopiques et macroscopiques.

Dans ces charbons cellulosiques l'on rencontre exactement les mêmes débris de tissus ligneux que dans les précédents, mais ces débris présentent des états d'altération très avancés qui ont été décrits dans le chapitre VII<sup>e</sup> (p. 130 à 136) et qui consistent, *soit dans l'extrême réduction des dimensions des fragments de bois, soit dans leur gélification très accentuée.*

Le *Fusain* existe parfois sous forme de grandes masses lenticulaires et exceptionnellement de lits. Il est plutôt rare à cet état et ne se rencontre guère qu'en *menus débris* étalés à la surface des lits de houille brillante et de houille semi-brillante comme le montrent la plupart des figures des planches XLVIII et XLIX.

Les *tissus ligneux gélifiés* (Xylain et Xylovitrain) s'observent en masses lenticulaires et en lames d'assez grandes dimensions (Fig. 226 et 227 [Pl. XLVII], 229, 230 [Pl. XLVIII], etc...) et aussi à l'état de menus fragments analogues à ceux que l'on peut reconnaître sur les différentes figures des planches citées et sur celles des planches XXXIV à XXXVI et XXXIX.

(1). Dans ces charbons, les lits de *houilles semi-brillantes* (Clarains), dont l'éclat plus faible contraste avec l'éclat très vif des *houilles brillantes* (Vittrains), ont été souvent déterminés comme *houilles mates*. Il n'y a là qu'une variation de terminologie qui n'a qu'une importance très secondaire et ne modifie en rien le fond même des choses.

Les *corps résineux* sont encore plus rares dans ce type de houilles ligno-cellulosiques que dans celui à tissus ligneux nombreux et bien conservés.

Quant aux *spores* et aux *cuticules* elles font normalement défaut dans ce type de combustible.

Dans ce genre de houille ligno-cellulosique, qui comprend presque uniquement des combustibles maigres (M. V. < 18 %), le *ciment organique* (pâte colloïdale ou substance fondamentale) est généralement bien développé, soit sous forme de liant enrobant les débris de tissus ligneux, soit à l'état de lit de houille brillante (Fig. 226 et 227, 231 à 238). Ce ciment végétal présente exactement les mêmes aspects que ceux des pâtes des houilles de cutine ou des houilles ligno-cellulosiques à nombreux tissus ligneux. L'étude des lits de houille brillante des charbons du groupe qui nous occupe actuellement révèle cependant (Chapitre XVI<sup>e</sup>) des compositions chimiques toutes différentes qui trouvent leur explication dans ce qui a été dit dans le Chapitre VIII<sup>e</sup> (p. 163 et suivantes). Un amaigrissement rapide, au cours des phénomènes diagenétiques précoces qui ont affecté certaines accumulations végétales, a pu déterminer très tôt l'anthracitisation de ces ciments des combustibles ligno-cellulosiques du deuxième type.

Ces ciments pauvres en matières volatiles dérivent surtout des produits de décomposition des substances cellulosiques, mais il ne paraît pas douteux, étant donné l'état d'altération des tissus ligneux, que leurs propres produits de désintégration ont eux-mêmes contribué à la genèse de la pâte organique amorphe qui joue un rôle prépondérant dans la formation des différents lits élémentaires des charbons cellulosiques.

Au point de vue de leur constitution microscopique les houilles à tissus ligneux rares et gélifiées sont caractérisées par la fréquence des lits de *charbon brillant* (Vitrain). Beaucoup d'entre elles sont constituées par des empilements de tels lits très minces, leurs débris de tissus ligneux n'existant guère qu'à l'état de minces jonchées marquant la limite de deux couches de houille brillante successives (Fig. 232, 233, 238, Pl. XLVIII ; 240, 242, 243, 244, Pl. XLIX ; 253, Pl. L). D'autres, au contraire, sont surtout formées de *houille semi-brillante* (Clairain) riche en ciment amorphe et en débris de bois gélifiés (Fig. 226, 227, Pl. XLVII ; 231, 233, 235, 237, Pl. XLVIII ; Hs, 251, 252, Pl. L). Ces lits étant constitués par deux substances à éclat vif (ciment amorphe et bois gélifié) possèdent des éclats accentués qui se rapprochent beaucoup de ceux des houilles brillantes et ont été souvent confondus avec ces dernières.

Les *lits mats* que l'on rencontre dans ce type de charbon ne sont pas formés par de la houille mate proprement dite, mais par des lits très cendreaux qui sont de véritables schistes charbonneux contenant parfois des concrétions carbonatées (Fig. 299 à 303, Pl. LXIII). La plupart de ces lits sont, comme ces derniers et ceux des figures 282 à 289 (Pl. LIX et LX), des associations de fines paillettes d'argile et de ciment amorphe ; d'autres, comme ceux des figures 280 et 281, contiennent en outre des débris de tissus ligneux.

Le *Fusain* est ordinairement plus rare que dans les houilles de cutine ou dans les houilles ligneuses (houilles ligno-cellulosiques à tissus ligneux nombreux et bien conservés). Il n'existe en général que sous forme de menus fragments étalés parallèlement au plan de stratification de la veine de houille et marquant la limite de deux lits élémentaires adjacents.

Le plus souvent, ces houilles ligno-cellulosiques à tissus ligneux rares et gélifiés sont plus compactes que les houilles ligno-cellulosiques du premier type et leur aspect d'ensemble rap-

pelle plutôt celui des houilles de cutine. Elles sont, néanmoins, moins compactes et plus fragiles que ces dernières. Les lames de tissus ligneux, même lorsqu'elles sont gélifiées, arment les lits de houille semi-brillantes et se sont opposées à la formation de fentes par retrait des masses plastiques en voie de dessiccation (Pl. XLVIII, Fig. 234, 237 et 238, voir aussi, Chapitre X<sup>e</sup>, p. 223).

En résumé, ce deuxième type de houille ligno-cellulosique est caractérisé par le morcellement très poussé des tissus ligneux, la gélification accentuée de la plupart des masses importantes de ces mêmes tissus qui peuvent y exister et le grand développement de leur ciment amorphe colloïdal. Comme le montrent bien les figures 226 et 227 (Pl. XLVII), ces houilles sont surtout formées de substances amorphes provenant de deux phénomènes différents, la précipitation mécanique de débris de tissus ligneux gélifiés et la précipitation chimique ou biochimique des substances constitutives du ciment qui les unit.

### C. — Les houilles ou charbons à caractères mixtes

#### Type intermédiaire entre les houilles de cutine et les houilles ligno-cellulosiques.

Par opposition aux types précédents les charbons à caractères mixtes sont des *types rares* dans les houilles des veines exploitées dans le Bassin du Nord de la France.

Ce type est caractérisé par la présence simultanée des deux variétés de débris organisés qui servent à distinguer les deux grands groupes lithologiques de houilles.

Les débris de *tissus ligneux* sont à peu près aussi nombreux que dans les houilles ligno-cellulosiques normales et par leurs quantités et leurs aspects se rapprochent de ceux des houilles ligneuses.

Les débris de substances cutinisées se réduisent presque toujours à quelques exines de *macrospores*, les microspores et les cuticules étant beaucoup plus rares. Les macrospores elles-mêmes peuvent n'exister qu'en nombre très réduit.

La figure 30 (Pl. VII) montre un exemple typique de ces houilles mixtes rencontré dans la Veine Sainte Barbe bis, à la Fosse Dechy des mines d'Aniche, exemple dont les caractères particuliers peuvent ainsi être comparés à ceux des houilles de cutine typiques des figures 28, 29, 31 à 33 de la même planche.

La figure 1 de la planche IX d'un mémoire publié antérieurement [213<sup>bis</sup>] montre également la présence d'une macrospore dans une houille identique par ailleurs aux houilles ligneuses.

La rareté de ces houilles mixtes peut tenir en partie, soit aux conditions actuelles d'exploitation du gisement, soit à la disparition des parties des veines de houille qui les contenaient au cours du plissement du bassin et de l'érosion subséquente.

## II

## Homogénéité pétrographique des veines de houille dans toute leur épaisseur.

### Les caractères pétrographiques des Veines de houille.

L'ensemble des faits d'observation mis en évidence par l'étude des différents types lithologiques de charbon permet de se rendre compte qu'il y a lieu de distinguer trois groupes équivalents.

1<sup>o</sup> LES HOUILLES DE CUTINE pouvant présenter deux faciès distincts : les *houilles de spores* et les *houilles de cuticules* correspondant normalement, comme nous le verrons bientôt, à des compositions chimiques semblables.

2<sup>o</sup> LES HOUILLES LIGNEUSES ou *houilles ligno-cellulosiques à tissus ligneux nombreux et bien conservés* représentant, comme le montrera un prochain développement, un type chimique de combustible bien défini.

3<sup>o</sup> LES HOUILLES CELLULOSIQUES ou *houilles ligno-cellulosiques à tissus ligneux rares et gélifiés* comprenant des types non moins bien définis chimiquement, mais différents des précédents.

Sans anticiper ici sur les chapitres du livre deuxième qui traiteront du mode de formation des veines de houille et des lits élémentaires qu'elles renferment, je me bornerai à signaler que ces faits d'observation ne peuvent s'expliquer que si l'on admet que les débris organisés et les substances végétales dissoutes constitutives des ciments qui les enrobent ont subi dans les eaux de la lagune des phénomènes de translation qui ont assuré leur classement et déterminé leur dépôt en différents points de la dite lagune houillère.

L'étude de la distribution des divers types pétrographiques de charbon dans les veines de houille vient confirmer cette manière de voir.

L'étude microscopique des veines de houille du Nord de la France montre que dans une même veine de houille, considérée en un point donné, le mélange des divers types lithologiques de charbon est un fait extrêmement rare et exceptionnel dans l'état actuel de nos connaissances.

Dans les houilles du Nord et du Pas-de-Calais je n'ai pu l'observer que dans la veine Poissonnière de la Concession de Ferfay des Mines de Marles où j'ai rencontré côte à côte de rares lits de charbon de cuticules (Pl. L, Fig. 246) parmi des couches de charbon ligno-cellulosique à tissus ligneux bien conservés (Fig. 247 et 248).

Une houille flambante de la Sarre m'a fourni un exemple moins net d'un lit très riche en masses ligneuses (Pl. XLII, Fig. 217) isolé au milieu de couches contenant presque exclusivement des spores (Fig. 216). Dans ce cas le lit riche en débris de bois contient encore de nombreuses traînées de microspores et représente plutôt un type mixte qu'une houille ligno-cellulosique proprement dite.

D'autre part, dans des recherches entreprises en collaboration avec M<sup>me</sup> S. DEFRETIN-

LEFRANC [213 bis] et M. J. W. LAVERDIÈRE [212 bis], il m'a été possible de montrer que dans des anthracites belges formés presque exclusivement par des lits de charbon ligno-cellulosique à tissus ligneux bien conservés ([213 bis], Pl. IX, Fig. 2 à 4, [212 bis], Pl. XI, Fig. 1 à 3), il existe quelques lits de houille de cutine à caractères très nets ([212 bis] Pl. XI, Fig. 4 et 5) et que certains lits de houille ligno-cellulosique contiennent de rares macrospores ([213 bis], Pl. IX, Fig. 1, Ms).

Sauf ces trois cas, dont deux seulement sont nets et concluants, toutes les veines qui ont été étudiées dans l'intégralité de leur épaisseur *se sont révélées comme étant constituées, en un point donné de leur mur à leur toit, par la superposition de lits à caractères pétrographiques constants.*

Autrement dit, lorsque l'on considère séparément toutes les veines de houille du gisement l'on constate que dans toutes les coupes verticales *les différents lits élémentaires superposés appartiennent tous à un même type lithologique de charbon* et que, par conséquent, *les caractères pétrographiques des veines de houille sont constants du toit au mur.*

Par contre, nous verrons dans le chapitre XX<sup>e</sup> que lorsque l'on étudie un certain nombre de coupes verticales d'une même veine de houille en des points suffisamment éloignés les uns des autres dans l'étendue du gisement, *l'on constate (Pl. L, Fig. 245 à 253) que sur une même horizontale une même couche de roche combustible peut être constituée en certains points par des charbons de cutine (Fig. 245 et 246), en d'autres points par des charbons ligno-cellulosiques à tissus ligneux fréquents et bien conservés (Fig. 247 à 250) et en d'autres enfin par des charbons ligno-cellulosiques à tissus ligneux rares et gélifiés (Fig. 251 à 253).*

### **Conclusions du chapitre dix-septième**

Des faits exposés précédemment, il résulte que les divers types pétrographiques de charbon *se déposaient simultanément* en différents points de la lagune houillère et que le mélange des types pétrographiques en question ne s'est réalisé que très rarement dans nos veines de houille *qui présentent toutes en un point donné, de leur mur à leur toit, les caractères pétrographiques de l'un des types de charbon décrits au début de ce chapitre.*

## CHAPITRE DIX-HUITIÈME

### Les caractères chimiques des veines de houilles.

#### SOMMAIRE

- I. — VARIATIONS DE COMPOSITION CHIMIQUE DES DIFFÉRENTS LITS OU SILLONS DES VEINES DE HOUILLE. — A. — Veines de houilles bitumineuses. — B. — Veines de houilles à coke. — C. — Veines de houilles anthraciteuses.
- II. — INTERPRÉTATION ET EXPLICATION DES FAITS OBSERVÉS. — Les causes des variations de composition chimique des divers lits ou sillons des veines de houille.

L'étude chimique des différents lits ou sillons superposés dans les veines de houille, en un point donné, conduit sensiblement aux mêmes conclusions que celle de la localisation de l'un des types pétrographiques en ce même point, en ce sens qu'elle met bien en évidence qu'il existe entre ces lits ou sillons certaines différences de compositions chimiques, *mais que les variations observées sont toujours relativement assez faibles* pour que les charbons des diverses couches superposées *puissent être rangés dans une seule des grandes catégories parmi lesquelles on peut grouper les termes de la classification chimique de GRUNER.*

A. GRUNER distinguait [293] différents types chimiques de houille que l'on peut classer d'après les qualités de leur coke en trois groupes auxquels j'attribuerai les appellations suivantes :

1<sup>o</sup> Les *houilles bitumineuses* contiennent plus de 26% de matières volatiles et donnent le plus souvent des cokes de mauvaises qualités (soit pulvérulents, soit boursofflés et fragiles).

2<sup>o</sup> Les *houilles à coke* renferment de 26 à 18 % de M. V. et fournissent des cokes sonores, durs et compacts (cokes métallurgiques).

3<sup>o</sup> Les *houilles anthraciteuses*, parmi lesquelles les plus typiques sont les anthracites, contiennent moins de 18 % de M. V. et ne donnent pas de coke dans le sens propre du terme.

#### I

#### Variations de composition chimique des différents lits ou sillons d'une même veine

L'on doit à M. CH. BARROIS une étude détaillée [24] des variations de composition chimique des différents lits ou sillons superposés en un certain nombre de points de différentes veines de la concession d'Aniche, étude qui montre que dans le Bassin du Nord, comme dans la plupart des autres, diverses actions se sont superposées au cours des temps pour modifier la composition des veines de charbon. Dans ses conclusions M. BARROIS estime, en effet, que les différences de composition chimique révélées par les analyses des houilles des divers sillons d'une même veine ne peuvent s'expliquer que par des différences originelles que n'ont pu effacer certaines actions secondaires.

Un certain nombre d'auteurs, notamment de M. M. GRESLEY [287 bis], MUCK [451 bis],

STAINIER [592], J. J. STEVENSON <sup>(1)</sup>, STRAHAN et POLLARD [622], ont étudié cette même question et ont montré que dans un même point de prise les différents lits ou sillons peuvent présenter certaines variations de compositions chimiques.

Parmi les veines de houille que j'ai utilisées dans mes recherches microscopiques quelques-unes m'ont fourni des indications précises sur ce point, indications que je résumerai dans les tableaux suivants.

### A. — Variations de la composition chimique dans les veines de houilles bitumineuses

TABLEAU XVI

## Mines d'Anzin

VARIATIONS DE LA COMPOSITION DU CHARBON DE LA VEINE RENARD (= POISSONNIÈRE) A LA FOSSE RŒULX

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES	Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
Sillon du toit	1,73	30,10	65,83	4,07	0,26 %
Sillon du mur	2,03	29,84	62,04	8,12	

TABLEAU XVII

## Mines de Béthune

VARIATIONS DE LA COMPOSITION DU CHARBON DANS LA VEINE CHARLOTTE (= DUSOUCHE DE LENS). — Fosse n° 11 — Niveau 432

N° des échantillons	DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES	Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
1	Sillon du Toit { 0 <sup>m</sup> 15 de charbon friable	1,26	33,62	62,37	4,01	4,33 %
2	2 <sup>m</sup> e Sillon { 0 <sup>m</sup> 20 de charbon friable	1,15	34,60	62,08	3,32	
3	3 <sup>m</sup> e Sillon, 0 <sup>m</sup> 20	1,13	36,77	61,26	1,97	
4	Sillon du Mur, 0 <sup>m</sup> 20	1,02	37,95	46,70	15,35	

(1). D'après les analyses de MAC CREATH. Voir à ce sujet :

J. J. STEVENSON. — Report of Progress, *Second Geol. Survey of Pennsylvania*, 1877, Part I, p. 61. — Annual Report, *ibid.*, 1885, p. 480, 482 et 485.

**TABLEAU XVIII**  
**Mines de Bruay**

VARIATIONS DE LA COMPOSITION DU CHARBON DANS DIFFÉRENTES VEINES DU SIÈGE N° 5

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES		Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
19 <sup>me</sup> VEINE <i>Longitude</i> - 2.740 <i>Latitude</i> - 147	Sillon du toit	1,30	28,02	64,57	7,41	6,10 %
	Sommet du sillon du mur	1,89	33,40	62,70	3,90	
	Base du sillon du mur	1,64	34,12	63,47	2,40	
20 <sup>me</sup> VEINE <i>Longitude</i> - 1.160 <i>Latitude</i> - 860	Sommet du sillon du toit	2,74	33,60	63,70	2,70	2,05 %
	Base du sillon du toit	1,56	35,50	62,20	1,30	
	Sillon du mur	1,56	35,65	62,35	2,00	
21 <sup>me</sup> VEINE <i>Longitude</i> - 1.060 <i>Latitude</i> - 1.700	Voisinage du toit	2,53	30,80	65,60	3,60	2,68 %
	Milieu de la veine	1,85	28,12	65,37	6,50	
	Voisinage du mur	2,08	29,85	65,65	4,50	
22 <sup>me</sup> VEINE <i>Longitude</i> - 1.220 <i>Latitude</i> - 1.410	Sommet du sillon du toit	1,22	31,52	66,97	1,50	0,93 %
	Base du sillon du toit	0,93	32,45	56,65	10,90	
	Sillon du mur	1,14	31,62	66,07	2,30	
23 <sup>me</sup> VEINE <i>Longitude</i> - 1.510 <i>Latitude</i> - 1.030	Sommet du sillon du toit	1,18	34,82	63,07	2,10	4,75 %
	Base du sillon du toit	2,15	34,40	62,80	2,80	
	Sillon du mur	1,90	30,07	61,92	8,00	
24 <sup>me</sup> VEINE <i>Longitude</i> - 1.950 <i>Latitude</i> - 100	Sommet du sillon du toit	1,15	31,75	53,25	15,00	1,52 %
	Base du sillon du toit	1,67	31,20	58,30	10,50	
	Sillon du mur	1,03	32,72	54,97	12,30	
25 <sup>me</sup> VEINE <i>Longitude</i> - 1.945 <i>Latitude</i> - 130	Sillon du toit	0,85	34,75	63,05	2,20	4,20 %
	Sommet du sillon du mur	1,10	37,15	59,95	2,90	
	Base du sillon du mur	1,09	32,95	64,05	3,00	
30 <sup>me</sup> VEINE <i>Longitude</i> - 2.650 <i>Latitude</i> - 760	Sillon du toit	0,70	30,05	66,45	3,50	0,77 %
	Sillon du centre	1,19	30,27	64,72	5,00	
	Sillon du mur	1,32	30,82	65,87	3,30	



**TABLEAU XIX**  
**Mines de Bruay**

VARIATIONS DE LA COMPOSITION DU CHARBON EN DIFFÉRENTS POINTS DE LA 8<sup>me</sup> VEINE

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES		Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
SIÈGE 3	Bowette montante n° 42 à 45 m.	2,81	44,35	52,95	2,70	4,98 %
	Longitude — 1.485, Latitude + 1452	2,24	39,37	57,97	2,65	
	Voie 926, Long. — 1.980, Lat. — 460	3,19	41,60	54,50	3,90	
SIÈGE 4	Longitude — 900, Latitude — 620	3,04	36,62	57,27	6,10	8,40 %
	Longitude 0, Latitude — 840	1,29	45,02	51,67	3,30	
SIÈGE 6	Bowette Nord à 591	2,06	37,75	59,60	2,65	»
SIÈGE 7	Bowette montante de 11 <sup>e</sup> à 8 <sup>me</sup> Veine	1,28	36,95	57,90	5,15	0,15 %
	Bowette montante de 9 <sup>me</sup> à 7 <sup>me</sup> Veine	1,16	36,80	57,85	5,35	

Différence maxima entre les teneurs en M. V. des diverses prises d'essais 8,40 %.

**TABLEAU XX**  
**Mines de Courrières**

VARIATIONS DE LA COMPOSITION DU CHARBON DE LA VEINE SAINTE-BARBE  
(SIÈGE 13/18, ALTITUDE — 240, LONGITUDE + 4.300, LATITUDE — 170  
PAR RAPPORT AU CENTRE DU PUIS N° 2)

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES	Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
de 0 m. 00 à 0 m. 20 du toit	1,10	30,20	67,50	2,30	2,00 %
de 0 m. 20 à 0 m. 40 du toit	1,20	30,80	63,50	5,70	
de 0 m. 40 à 0 m. 60 du toit	1,10	30,60	65,60	3,80	
de 0 m. 60 à 0 m. 80 du toit	0,90	31,00	65,60	3,40	
de 0 m. 80 à 1 m. 00 du toit	1,50	29,80	67,30	2,90	
de 1 m. 00 à 1 m. 20 du toit	1,40	30,00	67,00	3,00	
de 1 m. 20 à 1 m. 40 du toit	1,30	29,00	68,00	3,00	

TABLEAU XXI  
Mines de Lens

VARIATIONS DE COMPOSITION DU CHARBON DE LA VEINE DUSOUCHE EN DIFFÉRENTS POINTS  
DE LA CONCESSION DE LENS

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES		Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
Siège d'extraction	Distance au toit					
FOSSE N° 3 Étage 432 Quartier Ouest Veine renversée (Les distances sont comptées à partir du toit géologique.)	0 m. 00	1,60	36,05	60,79	3,16	2,56 %
	0 m. 20	1,50	35,04	62,41	2,55	
	0 m. 40	1,60	36,20	59,44	4,36	
	0 m. 60	1,60	35,07	62,35	2,58	
	0 m. 80	1,50	37,60	59,62	2,78	
	1 m. 00	1,30	36,46	60,84	2,70	
FOSSE N° 4 Étage 253 Quartier Sud	0 m. 20	1,20	32,20	63,92	3,88	0,88 %
	0 m. 40	1,30	32,88	63,64	3,48	
	0 m. 60	1,40	32,65	62,75	4,60	
	0 m. 80	1,10	32,91	62,69	4,40	
	1 m. 00	0,90	33,08	57,22	4,70	
	1 m. 20	1,20	32,86	61,71	5,43	
	1 m. 40	1,20	32,96	62,85	4,19	
FOSSE N° 11 Étage 219 Quartier Nord	0 m. 00	0,70	31,48	64,70	3,82	2,16 %
	0 m. 20	0,50	31,51	65,73	2,76	
	0 m. 40	1,00	30,91	65,78	3,31	
	0 m. 60	0,90	30,68	66,67	2,65	
	0 m. 80	0,60	32,55	65,19	2,26	
	1 m. 00	0,70	32,71	64,34	2,95	
	1 m. 20	0,80	32,65	64,27	3,08	
	1 m. 40	1,10	30,55	67,03	2,42	
FOSSE N° 16 Étage 219 Quartier Sud Veine renversée (Les distances sont comptées à partir du toit géologique.)	0 m. 20	1,10	37,63	59,32	3,05	1,25 %
	0 m. 40	0,90	38,20	59,07	2,73	
	0 m. 80	0,80	38,18	58,66	3,16	
	1 m. 05	0,70	36,95	59,28	3,77	
	1 m. 25	0,80	36,95	60,47	2,58	
	1 m. 40	1,00	37,70	58,05	4,25	

Différence maxima entre les teneurs en M. V. des diverses prises d'essais 7,65 %.

## TABLEAU XXII

## Mines de Lens

VARIATIONS DE LA COMPOSITION DU CHARBON DE LA VEINE ERNESTINE AU SIÈGE N° 1  
ÉTAGE 243, QUARTIER NORD-EST

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES	Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
de 0 m. 00 à 0 m. 20 du toit	1,20	25,11 <sup>(1)</sup>	63,24	11,65	
de 0 m. 20 à 0 m. 40 du toit	1,40	30,82	65,68	3,50	5,71 %
de 0 m. 40 à 0 m. 60 du toit	1,50	29,08	66,46	4,46	
de 0 m. 60 à 0 m. 80 du toit	1,20	29,60	63,93	6,47	
de 0 m. 80 à 1 m. 00 du toit	1,10	29,86	64,55	5,62	
de 1 m. 00 à 1 m. 20 du toit	0,40	29,70	65,10	5,20	

(1). Cette teneur en M. V. anormalement basse s'explique par le fort pourcentage de cendres de ce lit. La teneur en M. V. cendres déduites est de 28,42 et correspond nettement à celle d'une houille bitumineuse.

## TABLEAU XXIII

## Mines de Liévin

VARIATIONS DE COMPOSITION DU CHARBON DE LA VEINE DUSOUICH

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES		Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
Siège d'extraction	Distance au toit					
SIÈGE N° 5 Étage 476 Sommet de la Bœvette montante	0 m.00 à 0 m.20	2,05	31,43	60,27	8,30	3,20 %
	0 m.20 à 0 m.40	2,05	31,94	65,26	2,80	
	0 m.40 à 0 m.60	2,06	34,63	63,49	1,88	
	0 m.60 à 0 m.90	2,02	34,32	63,14	2,54	
SIÈGE N° 7 Étage 766 Descenderie I	0 m.00 à 0 m.20	1,45	29,18	68,49	2,33	0,99 %
	0 m.20 à 0 m.40	1,37	30,17	66,78	3,05	
	0 m.40 à 0 m.60	1,27	29,45	66,96	3,59	
	0 m.60 à 0 m.80	1,27	29,85	67,86	2,29	
	0 m.80 à 1 m.00	1,39	30,09	63,97	5,94	
	1 m.00 à 1 m.20	1,44	29,99	67,67	2,34	

Différence maxima entre les teneurs en M. V. extrêmes des deux points de prises 5,45 %.

**TABLEAU XXIV**  
**Mines de Nœux**

VARIATIONS DE COMPOSITION DU CHARBON DE LA 4<sup>m</sup>e VEINE AU SIÈGE N° 7

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES		Humidité %	Mat. Vol. %	Mat. Vol. cendres déduites %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
Veine de 1 m. 40 en région non dérangée.	au contact du toit	2,20	36,10	37,13	2,80	8,60 %
	à 0 m. 25 du toit	1,50	42,60	43,55	2,20	
	au centre de la veine	1,42	39,30	40,53	3,05	
	au contact du mur	2,05	34,00	36,55	7,00	
Veine de 1 m. 20 au voisinage d'une étréinte de 0 m. 40.	au contact du toit	1,30	40,00	42,55	6,00	4,00 %
	au centre de la veine	1,10	39,00	39,79	2,00	
	au contact du mur	1,25	36,00	36,73	2,00	
Étréinte ou serrage de 0 m. 40 au voisi- nage du point de prise précédent.	au contact du toit	1,80	27,00	34,60	22,00	M. V. brutes 18,00 % M. V. cendres déduites 12,27 %
	au centre de la veine	1,45	45,00	46,87	4,00	
	au contact du mur	1,35	40,00	41,66	4,00	

Différences maxima entre les teneurs en M. V. des diverses prises d'essais.

En tenant compte de l'échantillon anormal à 27% M. V. . . . .	18%
En écartant cet échantillon anormal . . . . .	11%

Des analyses résumées dans les tableaux XVI, XVII, XVIII, XX, à XXV, il résulte que sur les vingt et un cas envisagés quatre seulement révèlent des écarts supérieurs à 5 % entre les teneurs en matières volatiles extrêmes des lits superposés en un point de la même veine de houille. Parmi ces quatre cas trois montrent des différences inférieures à 8,60 %. (Tableau XVIII, 6,10 % ; Tableau XXII, 5,71 % ; Tableau XXIV, 8,60%). Quant au quatrième (Tableau XXIII, 18%) il correspond, en réalité, à une anomalie du lit supérieur de la quatrième veine de Nœux qui contient un pourcentage de cendres élevé (22 %) déterminant un abaissement apparent de la

teneur en matières volatiles (27%). Lorsque l'on compare les teneurs en matières volatiles *cen­dres déduites* des trois lits de l'étreinte de la 4<sup>e</sup> veine, l'on observe un écart de 12,27% sensiblement plus bas que celui des matières volatiles brutes.

D'autre part, dans deux autres des quatre cas qui viennent d'être cités les écarts importants entre les teneurs en M. V. (Tableau XVIII, 6,10%, 19<sup>e</sup> veine de Bruay ; Tableau XXII, 5,71%, veine Ernestine de Lens) tiennent en partie à ce que les lits qui présentent les teneurs en matières volatiles les plus basses (respectivement 28,02% et 25,11%) sont plus riches en cendres (7,41% et 11,65%) que les autres lits analysés, circonstances qui expliquent le taux relativement bas des teneurs en M. V. En réalité, les substances charbonneuses existant dans ces deux houilles cendreuses sont plus riches en M. V. que ne l'indiquent les chiffres donnés pour les matières volatiles brutes comme le montre le calcul des matières volatiles cendres déduites.

TABLEAU XXV

TENEURS EN M. V. BRUTES ET EN M. V. CENDRES DÉDUITES DES LITS CENDREUX  
DES HOUILLES DE BRUAY, DE LENS ET DE NŒUX.

PROVENANCES	Cendres %	M. V. brutes %	M. V. cendres déduites %	Différences observées
19 <sup>e</sup> Veine de Bruay (T. XVIII).	7,41	28,02	30,25	2,23 %
Veine Ernestine de Lens (T. XXII)	11,65	25,11	28,42	3,31 %
4 <sup>e</sup> Veine de Nœux (T. XXIV)	22,00	27,00	34,60	7,60 %

Dans trois cas sur quatre les différences importantes entre les teneurs en matières volatiles s'expliquent en partie par les pourcentages en cendres plus élevés de certains lits.

Sur les seize groupes d'analyses pour lesquels la différence est inférieure à 5% onze présentent des écarts inférieurs à 2,68% parmi lesquels cinq n'atteignent pas l'unité.

Si l'on considère les différences des teneurs en matières volatiles observées en divers points de prises assez voisins d'une même veine, l'on constate que les variations (4,98%, 8,40%, 0,15% Tableau XIX ; 7,65%, Tableau XXI, 5,45%, Tableau XXIII, 18%, 11%, Tableau XXIV) sont de même ordre que celles constatées dans les différents lits superposés en un même point, mais qu'en règle générale les écarts sont plus élevés.

La conclusion la plus importante que l'on peut tirer de cette étude comparative est que quelle que soit la différence existant entre les teneurs en matières volatiles des divers lits superposés en un point quelconque d'une veine de houille bitumineuse, ces différences sont toujours suffisamment faibles pour que tous les échantillons prélevés puissent être classés dans cette même catégorie chimique des houilles bitumineuses.

**B. — Variations de la composition chimique dans les veines  
de houille à coke <sup>(1)</sup>**

TABLEAU XXVI

## Mines d'Aniche

VARIATIONS DE LA COMPOSITION DU CHARBON DANS LA VEINE BERNICOURT

FOSSE DECHY, ÉTAGE 511

DISTANCE AU TOIT	Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
0 m. 00 à 0 m. 10	1,04	16,83	74,46	8,71	5,11 %
0 m. 10 à 0 m. 20	0,97	21,94	73,70	4,36	
0 m. 20 à 0 m. 30	0,99	18,68	46,06	35,26	
0 m. 30 à 0 m. 40	1,16	21,27	75,33	3,40	
0 m. 40 à 0 m. 50	1,15	20,12	77,45	2,43	
0 m. 50 à 0 m. 60	1,08	21,06	75,52	3,42	
0 m. 60 à 0 m. 70	0,98	21,21	76,62	2,17	
0 m. 70 à 0 m. 80	1,07	19,33	78,47	2,20	
0 m. 80 à 0 m. 90	1,01	20,64	77,72	1,64	

(1) Ce terme étant pris ici dans le sens strict qui sera défini plus loin (Chapitre XIX<sup>e</sup>).

## TABLEAU XXVII

**Mines de Béthune**VARIATIONS DE LA COMPOSITION DU CHARBON DANS LA *VEINE MARCELLINE**Fosse n° 7. Niveau 361.*

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES	Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
Sillon du toit	1,09	23,20	66,10	10,70	2,20 %
Sillon du centre	0,71	25,40	71,49	3,11	
Sillon du mur	0,70	24,92	72,27	2,81	

## TABLEAU XXVIII

**Mines de Courrières**VARIATION DE LA COMPOSITION DU CHARBON DE LA *VEINE SAINT-ANTOINE**(Siège 7/19, Altitude 279, Longitude - 1534, Latitude + 1818 par rapport au centre du puits n° 2).*

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES	Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
Voisinage du toit	1,20	20,30	76,90	2,80	1,20 %
Centre de la Veine	0,80	20,90	75,30	3,80	
Voisinage du mur	0,70	19,70	77,00	3,30	

**TABEAU XXIX**  
**Mines de Lens**  
 VARIATION DE COMPOSITION DU CHARBON DE LA *VEINE ERNESTINE*  
 EN DIFFÉRENTS POINTS DE LA CONCESSION DE LENS

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES		Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
Siège d'extraction	distance au toit					
FOSSE n° 14 <sup>(1)</sup> Étage 260, Quartier Nord	Veine supérieure	0 m.00 à 0 m.20	1,60	24,86	71,22	0,59 %
		0 m.20 à 0 m.40	1,00	24,72	71,13	
		0 m.40 à 0 m.60	1,10	25,14	72,82	
		0 m.60 à 0 m.80	0,80	25,31	71,99	
	Veine inférieure	0 m.00 à 0 m.20	1,40	25,83	72,52	0,58 %
		0 m.20 à 0 m.40	1,20	26,41	71,33	
FOSSE n° 14 <sup>(1)</sup> Étage 193, Quartier Sud.	Veine supérieure	0 m.00 à 0 m.20	1,10	25,12	70,42	1,81 %
		0 m.20 à 0 m.40	0,80	26,45	71,57	
		0 m.40 à 0 m.60	1,10	25,04	67,82	
		0 m.60 à 0 m.80	1,10	24,64	68,03	
	Veine inférieure	0 m.00 à 0 m.20	0,90	26,60	71,50	1,42 %
		0 m.00 à 0 m.40	1,30	25,44	70,41	
		0 m.40 à 0 m.60	0,70	25,92	67,52	
		0 m.60 à 0 m.80	1,10	25,18	69,82	
FOSSE n° 15 Étage 127, Quartier Est.	0 m.00	1,00	24,70	69,20	0,61 %	
	0 m.20	0,60	25,31	67,23		
	0 m.40	0,50	25,22	71,40		

Différence maxima entre les teneurs en M. V. des diverses prises d'essais 1,96 %

(1) Dans cette région de la concession de Lens le nom d'*Ernestine* est donné à deux veines superposées et très rapprochées.



## TABLEAU XXX

## Mines de Lens

VARIATION DE COMPOSITION DU CHARBON DE LA VEINE DUSOUICH  
au Siège n° 2 (1<sup>er</sup> Étage à 208 m., 4<sup>e</sup> Quartier Nord).

DISTANCE AU TOIT	Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
0 m.00 à 0 m.20	1,40	25,75	70,35	3,90	2,48 %
0 m.20 à 0 m.40	2,30	24,00	69,62	6,38	
0 m.40 à 0 m.60	1,10	26,44	70,37	3,19	
0 m.60 à 0 m.80	1,10	26,48	71,19	2,33	
0 m.80 à 1 m.00	1,20	25,24	72,46	2,30	
1 m.00 à 1 m.20	1,40	25,45	72,05	2,50	

Sur les neuf exemples d'analyses cités huit révèlent des différences de teneurs en matières volatiles inférieures ou égales à 2,48. Parmi elles quatre ne présentent que des écarts inférieurs à 0,61 % et deux des variations de 1,20 % et de 1,80 %.

Dans le seul cas où la différence atteint un peu plus de 5 % (Tableau XXVI, 5,11 %), son importance est accrue par le fait que le lit qui contient la plus faible teneur en M. V. est plus riche en cendres que ceux auxquels on le compare. Dans cette veine Bernicourt des Mines d'Aniche les teneurs en M. V. les plus basses de deux des lits considérés s'expliquent par leur caractère cendreux comme le montre le calcul des teneurs en M. V. cendres déduites.

## TABLEAU XXXI

TENEURS EN M. V. BRUTES ET EN M. V. CENDRES DÉDUITES DE DEUX DES LITS  
DE LA VEINE BERNICOURT DES MINES D'ANICHE

PROVENANCES	Cendres %	M. V. brutes %	M. V. Cendres déduites %	Différences observées
de 0 m.00 à 0 m.20 du toit	8,71	16,83	18,43	1,60 %
de 0 m.20 à 0 m.30 du toit	35,26	18,68	28,85	10,17 %

Les teneurs en matières volatiles cendres déduites de ces deux lits montrent qu'il s'agit bien de houille à coke, une partie des M. V. du lit très cendreux pouvant être attribuée comme dans certains Fusains au pourcentage élevé des matières minérales (carbonates ou sulfures) capables de donner à la distillation des gaz tels que CO<sup>2</sup> ou SO<sup>2</sup>.

Si l'on fait abstraction de ces deux lits particuliers, la différence entre les teneurs extrêmes des divers lits de la veine Bernicourt n'est plus que de 2,61 %.

Si l'on écarte quelques cas exceptionnels, qui trouvent leur explication comme celui que je viens de citer dans certaines particularités de leur composition chimique, les différences observées entre les compositions chimiques des lits ou sillons superposés dans une veine de houille à coke sont plus faibles que dans le cas des houilles bitumineuses.

### C. — Variations de la composition chimique dans les veines de houille anthraciteuses

TABLEAU XXXII

**Mines d'Anzin**

VARIATIONS DE LA COMPOSITION DU CHARBON DANS LA VEINE N° 5 DU NORD. FOSSE CUVINOT.  
1<sup>re</sup> taille retour sous 250.

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES	Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différence entre les teneurs extrêmes en M. V.
Sillon du toit	0,54	14,42	79,98	5,60	0,76 %
Sillon situé au-dessus du sillon du mur	0,65	14,52	82,73	2,75	
Sillon du mur	0,40	13,76	82,54	3,70	

TABLEAU XXXIII

**Mines de Béthune**

VARIATIONS DE LA COMPOSITION DU CHARBON DE LA VEINE ALPHONSE, Fosse n° 8, Niveau 240

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES	Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
de 0 m.00 à 0 m.20 du toit	0,48	13,40	80,10	6,50	1,43 %
de 0 m.20 à 0 m.40 du toit	0,60	12,62	84,13	3,25	
de 0 m.40 à 0 m.60 du toit	0,56	14,05	79,90	6,05	
de 0 m.60 à 0 m.80 du toit	0,55	13,95	81,12	4,93	

## TABLEAU XXXIV

## Mines de Courrières

VARIATION DE COMPOSITION DU CHARBON DE LA 6<sup>e</sup> VEINE DU NORD  
(Siège 8/16, Altitude 218, Longitude — 4249, Latitude + 6896 par rapport au centre du puits n°2).

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES	Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différence entre les teneurs extrêmes en M. V.
Voisinage du toit	1,00	8,50	86,80	4,70	0,70 %
Centre de la Veine	1,00	8,60	85,80	5,60	
Voisinage du mur	1,00	9,20	86,40	4,40	

## TABLEAU XXXV

## Mines de Lens

VARIATION DE COMPOSITION DU CHARBON DE LA VEINE ÉLISA

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES		Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
Siège d'extraction	Distance au toit					
FOSSE n° 3 de MEURCHIN	0 m. 00 à 0 m. 20	0,40	14,35	79,07	6,58	0,12 %
	0 m. 20 à 0 m. 40	0,30	14,37	78,17	7,46	
	0 m. 40 à 0 m. 60	0,70	14,25	80,45	5,30	
FOSSE n° 4 de MEURCHIN	0 m. 00 à 0 m. 20	0,50	12,77	84,63	2,60	1,43 %
	0 m. 20 à 0 m. 40	0,70	13,58	83,78	2,64	
	0 m. 40 à 0 m. 60	0,40	12,67	84,91	2,42	
	0 m. 60 à 0 m. 80	0,60	12,15	85,19	2,66	
FOSSE n° 7 Étage 222	0 m. 00 à 0 m. 20	0,60	14,05	81,79	4,16	1,60 %
	0 m. 20 à 0 m. 40	0,40	13,38	85,04	1,58	
	0 m. 40 à 0 m. 60	0,40	14,70	83,38	1,92	
	0 m. 60 à 0 m. 80	0,30	13,15	84,66	2,19	
	0 m. 80 à 1 m. 00	0,40	13,10	85,32	1,58	

Différences maxima entre les teneurs en M. V. des diverses prises d'essais 1,55 %

TABLEAU XXXVI

## Charbonnages de Mariemont-Bascoup (Belgique)

VARIATIONS DE COMPOSITION DU CHARBON DE LA VEINE DE DERRIÈRE (1)

PROVENANCES DES ÉCHANTILLONS			Humidité %	Mat. Vol. %	Carb. fixe %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.	
Siège Sainte-Henricette	Sillon du toit	Partie supérieure	0,36	9,77	71,88	17,99	2,37 %	3,13 %
		Partie inférieure	0,38	12,14	73,18	14,30		
	Sillon du centre		0,49	12,90	83,96	2,65	»	
	Sillon du mur	Partie supérieure	0,47	11,28	84,03	4,22	0,53 %	
		Partie inférieure	0,55	10,75	84,04	4,66		
Siège n° 5	Sillon supérieur	Laie 1	0,77	10,53	67,10	21,60	4,39 %	4,39 %
		Laie 2, n° 1	1,30	9,71	82,49	6,50		
		Laie 2, n° 2	0,88	12,00	80,42	6,70		
		Laie 3	0,90	10,70	84,40	4,00		
		Laie 4, n° 1	0,70	10,35	77,30	11,65		
		Laie 4, n° 2	0,89	7,61	85,20	6,30		
		Laie 4, n° 3	0,90	7,73	86,87	4,50		
		Laie 4, n° 4	1,03	9,73	82,38	6,85		
	Sillon du mur	Partie supérieure	0,85	9,30	85,55	4,30	3,34 %	
		Partie moyenne n° 1	1,50	8,42	85,63	4,45		
		Partie moyenne n° 2	1,26	10,03	87,01	1,70		
		Partie inférieure	1,04	11,76	81,00	6,20		
	Siège n° 7	Sillon du toit	Partie supérieure	0,51	11,29	83,63	4,57	
Partie moyenne n° 1			0,57	10,43	85,08	3,92		
Partie moyenne n° 2			0,62	11,37	85,06	2,95		
Partie inférieure			0,48	7,28	85,61	6,63		
Sillon du centre		0,79	8,23	86,12	4,86	»		
Sillon du mur		Partie supérieure	0,58	6,57	86,16	6,69	1,70 %	
		Partie centrale	0,92	8,27	85,29	5,52		
	Partie inférieure	0,63	7,34	88,76	3,27			

Différence maxima entre les teneurs en M. V. des divers points de prises 6,33 %

(1) Ces houilles ont été étudiées en collaboration avec M<sup>me</sup> S. DEFRETIN-LEFRANC [213 bis, 213 ter] et M. J. W. LAVERDIÈRE [212 bis].

## TABLEAU XXXVII

## Mines de Nœux

## VARIATION DE COMPOSITION DU CHARBON DE LA VEINE SAINTE-BARBE

Fosse n° 3

DÉSIGNATION DES POINTS DE PRISES		Humidité %	Mat. Vol. %	Mat. Vol. cendres déduites %	Cendres %	Différences entre les teneurs extrêmes en M. V.
Veine à épaisseur normale de 0m.70	Voisinage du toit	0,42	15,00	15,62	4,00	5,00 %
	Centre de la veine	0,36	15,00	17,44	14,00	
	Voisinage du mur	0,54	10,00	11,36	12,00	
Étreinte de 0m.20 voisine du point de prise précédent	Voisinage du toit	0,91	14,00	15,50	10,00	4,00 %
	Centre de la veine	0,75	11,00	11,70	6,00	
	Voisinage du mur	0,80	10,00	11,17	10,50	

Sur les onze groupes d'analyses citées, six présentent des différences de teneurs en matières volatiles inférieures à 1,60 %, ces différences étant inférieures à l'unité (0,76 %, 0,70 %, 0,12 %) pour trois d'entre elles.

Dans les cinq autres cas les différences entre les teneurs en matières volatiles des lits superposés en un point ne dépassent pas 5 % et leurs valeurs relativement élevées s'expliquent par certaines circonstances particulières.

La veine de Derrière (Tableau XXXVI) est, comme le montrent les coupes publiées dans des études antérieures <sup>(1)</sup>, une couche très hétérogène où les sillons de houille se trouvent séparés par d'importantes intercalations de schiste ou d'escaillage, caractères qui indiquent de nombreux changements dans les conditions de sédimentation ; changements qui semblent bien s'être produits également au cours du dépôt des différents sillons de charbon.

Dans ces conditions, l'on peut admettre que les différents sillons superposés en un même point et séparés par d'importantes intercalations stériles représentent chacun une veine séparée où il y aurait lieu de comparer les diverses laies successives. L'on constate, alors, un sensible abaissement des écarts observés qui sont inférieurs ou égaux à 2,37 % dans trois cas et n'atteignent que 3,34 % et 4,39 % dans les deux autres. Dans deux groupes d'analyses ces écarts

(1). Voir : [213 bis], Fig. 1, p. 137 ; Fig. 2, p. 145 ; [212 bis], p. 216.

sont relativement bas (1,70 et 1,47%) et de l'ordre de ceux reconnus dans les houilles de Béthune (Tabl. XXXIII) et de Lens (Tabl. XXXV).

La *veine Sainte-Barbe* de Nœux (Tabl. XXXVII) a fait l'objet de prélèvements effectués dans le voisinage d'un accident (serrage ou étreinte) qui a pu déterminer certaines modifications locales expliquant dans une certaine mesure les différences révélées.

En résumé, dans les *houilles anthraciteuses* les différences observées entre les compositions chimiques des divers sillons ou lits superposés *sont, en règle générale, fort faibles* (inférieures à 1,60 %), lorsqu'elles sont plus élevées *elles sont toujours suffisamment basses pour que tous les lits étudiés puissent être classés dans cette même catégorie des houilles anthraciteuses* telle que je l'ai définie au début de ce développement.

## II

### Interprétation et explication des faits observés

Des résultats des analyses chimiques figurant dans le développement précédent l'on peut tirer les conclusions suivantes :

1° En un point donné, toutes les veines de houille présentent entre leur toit et leur mur des *caractères chimiques constants* en ce sens que les charbons des divers lits ou sillons superposés *appartiennent tous à la même grande catégorie chimique de houille*, les différences observées étant toujours assez faibles pour ne pas entraîner la coexistence sur une même verticale de deux catégories différentes.

2° Aussi bien dans les veines de houille bitumineuse que dans celles de houille à coke ou de houille anthraciteuse, les différences existant entre les compositions chimiques des lits ou sillons superposés *sont le plus souvent assez faibles* (de l'ordre de deux unités environ) et peuvent être fréquemment inférieures à l'unité.

3° Dans les veines de houille à coke ou de houille anthraciteuse ces différences *ne dépassent jamais 5 %* pour tous les exemples cités, tandis que dans les houilles bitumineuses l'on rencontre assez rarement, il est vrai, *des écarts plus importants de l'ordre de 10 % et plus*.

4° L'importance des variations observées est accrue dans certains cas par les différences des teneurs en cendres des divers lits en présence qui, lorsqu'elles sont élevées, peuvent diminuer dans de fortes proportions les pourcentages de matières volatiles de certains lits et *accentuer des diversités plus apparentes que réelles*.

Tous ces faits d'observation s'expliquent très facilement par ce qui a été dit sur les structures microscopique (Chapitres V à XIII) et macroscopique (Chapitres XIV à XVI) des houilles.

#### A. — Causes des variations de composition chimique.

Ces variations trouvent leur explication dans les études microscopiques et macroscopiques des houilles qui montrent que cette roche combustible *possède, en réalité, une structure hétérogène* extrêmement complexe.

L'*examen microscopique* nous a révélé que la distribution des débris organisés et du ciment amorphe qui les enrobe varie constamment dans la masse d'une houille donnée où deux points voisins peuvent être très différents l'un de l'autre quant aux quantités de débris végétaux et de pâte en présence.

L'*examen macroscopique* nous a montré que les prises d'essais sont constituées par la superposition, en proportions variables, de lits élémentaires (houille brillante = Vitrain ; houille semi-brillante = Clarain ; houille mate = Durain) présentant des compositions chimiques assez voisines, mais non identiques, qui se trouvent associés à des masses ou à des lits de Fusain qui peuvent posséder des caractères très différents de ceux des deux ou trois autres constituants adjacents.

Dans ces conditions, l'on comprend facilement que les prises d'essais effectuées dans les divers sillons d'une même veine peuvent différer les unes des autres par les pourcentages de constituants en présence et par les proportions de Fusain qu'elles renferment ; circonstances qui suffisent pour expliquer les variations de compositions chimiques qu'elles offrent fréquemment.

En comparant les résultats des analyses chimiques figurant dans les chapitres XVI<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> l'on peut se rendre compte *que les différences observées entre les divers sillons ou lits d'une même veine sont de même ordre que celles que l'on peut constater entre les divers constituants prélevés côte à côte dans un bloc de houille* et que dans les houilles à coke et les houilles bitumineuses les dites différences sont, en règle générale, bien inférieures à celles qui existent, soit entre le Fusain et la houille encaissante (Tableau X), soit entre le Fusain et les autres constituants adjacents (Tableau IX).

Les variations de composition chimique des divers lits ou sillons d'une même veine ne font donc qu'exprimer d'une façon particulière les légères différences de composition chimique existant entre les houilles brillantes, semi-brillantes et mates adjacentes et rendent compte dans certains cas des différences accentuées existant entre ces constituants et le Fusain qui les accompagne.

#### **B. — Rôle du Fusain dans les variations importantes observées dans les houilles des divers types.**

Dans les *houilles bitumineuses* les différences importantes (6,10 %, Tableau XVIII ; 5,71 %, T. XXII ; 8,60 %, 18 %, T. XXIV) ou relativement élevées (4,33 %, T. XVII ; 4,75 %, T. XVIII, 3,20 %, T. XXIII ; 4 %, T. XXIV) s'expliquent très simplement par la présence dans ces charbons riches en matières volatiles (M. V. > 26 %) d'un constituant, le *Fusain*, qui est un véritable anthracite ligneux très pauvre en matières volatiles (M. V. < 18 %) (Voir les tableaux IX et X et le tableau de la planche A du texte).

Dans ces houilles le Fusain peut exister sous forme de masses lenticulaires d'assez grandes dimensions (quelques millimètres à un centimètre d'épaisseur, quelques centimètres de longueur) qui, si elles se multiplient en un point donné, peuvent complètement modifier les résultats généraux des analyses des prises d'essais en question. Dans ce cas un abaissement brusque de la teneur en matières volatiles ne signifie pas que la houille encaissante est essentiellement

différente de celle de l'échantillon voisin et n'a d'autre cause que la présence d'un plus fort pourcentage de Fusain.

A ce sujet, il y a lieu d'insister sur le fait que les variations les plus élevées des teneurs en M. V. observées dans les lits ou sillons superposés (18 %, Tab. XXIV) sont bien inférieures aux différences constatées entre le Fusain et les autres constituants macroscopiques du même charbon (34,26 %, 26,48 %, Tab. IX).

L'irrégularité de la distribution du Fusain qui est un élément peu fréquent des houilles bitumineuses et sa présence en amas ou nids très localisés expliquent, d'autre part, que les écarts importants ne sont constatés qu'assez rarement comme nous l'avons vu dans le premier développement de ce chapitre.

*A fortiori*, les considérations précédentes rendent-elles compte des variations de plus faible envergure constatées entre les divers lits ou sillons de nombreuses veines de charbon bitumineux (voir les tableaux XVI à XXIII).

Dans les *houilles à coke* le Fusain représente également un constituant beaucoup plus pauvre en matières volatiles que les lits de houille brillante (Vitrain) ou de houille semi-brillante (Clarain) auxquels il se trouve associé. Les différences des teneurs en M. V. moins accentuées que dans le cas précédent restent néanmoins appréciables puisqu'elles peuvent atteindre 12,31 % (Tabl. IX). Le fait que les variations reconnues entre les divers lits ou sillons ne dépassent guère 5 % (voir Tableaux XXVI à XXX) s'explique par les caractères lithologiques des houilles à coke où, comme nous l'avons vu (Chapitre XVI<sup>e</sup>), le Fusain est en général assez régulièrement réparti. Dans ces conditions, l'existence de nids de Fusain suffit pour expliquer les écarts observés entre les diverses prises d'essais ; écarts qui ici encore sont bien inférieurs (Tabl. XXVI à XXX, 0,58 % à 5,11 %) à ceux que l'on peut observer entre le Fusain et les autres constituants (Tabl. IX) ou entre le Fusain et la houille encaissante (Tabl. X).

Dans les *houilles anthraciteuses* il y a, comme nous l'avons vu (Chapitre XVI<sup>e</sup>), une tendance vers l'uniformisation des divers constituants associés et le Fusain présente normalement une composition chimique qui se rapproche beaucoup de celle des houilles brillante (Vitrain) et semi-brillante (Clarain).

Néanmoins, l'on y observe encore certaines différences sous forme d'une diminution des teneurs en M. V. des Fusains. Cette diminution se manifeste, soit entre cette houille mate fibreuse et les autres constituants où elle atteint 2,60 % (Tabl. IX), soit entre ce même Fusain et la houille encaissante où des écarts de 1,94 % (Tabl. X) peuvent encore être constatés.

Ici encore ces différences sont bien supérieures à celles qui existent dans la plupart des cas entre les lits ou sillons des veines de houilles anthraciteuses, différences qui oscillent entre 0,12 % et 1,60 % (Tabl. XXXII à XXXV). Elles expliquent, au moins dans une certaine mesure, les écarts plus importants (3,13 % à 5,10 %, Tableaux XXXVI et XXXVII) que l'on observe parfois entre ces mêmes lits ou sillons.

En résumé, dans tous les types de charbon la présence du *Fusain*, moins riche en matières volatiles que la houille encaissante ou que les autres constituants macroscopiques, permet d'expliquer l'abaissement des teneurs en matières volatiles de certaines prises d'essais. Son inégale



répartition dans les houilles bitumineuses rend compte des écarts importants observés parfois entre les lits ou sillons des veines de ces roches combustibles. Au contraire, sa distribution régulière dans les houilles à coke, jointe à la différence moins accentuée qu'il présente avec la houille encaissante, permet de comprendre pourquoi dans ce cas les écarts des différentes prises d'essais sont de moindre importance <sup>(1)</sup>.

### C. — Rôle de lits particuliers riches en matières volatiles dans les variations importantes observées dans certaines veines de houille bitumineuse.

Ces différences peuvent résulter dans certains cas, comme nous venons de le voir, d'un abaissement anormal des teneurs en matières volatiles de certaines prises d'essais riches en Fusain.

Dans d'autres cas des écarts très importants peuvent être provoqués par la présence, parmi les lits ou sillons étudiés, de couches à caractères spéciaux.

#### *Analyse de la Veine N° 8 de la Mine de Nordstern (Westphalie)* (d'après M. Muck)

	Mat. vol.	Carb. fixe	Cendres
Sillon supérieur (houille rayée) . . . . .	25,96 %	69,81 %	4,23 %
Sillon moyen (houille rayée) . . . . .	23,54 %	69,00 %	7,46 %
Sillon inférieur (abstraction faite du Cannel Coal) . . . . .	24,07 %	67,77 %	8,16 %
Lit de Cannel Coal intercalé dans le sillon inférieur . . . . .	38,96 %	55,07 %	5,97 %

Ces couches particulières intercalées dans les veines de houille peuvent être constituées par des Cannel Coals ou des Bogheads (Gayets) comme dans le cas de l'analyse d'une veine de houille allemande citée par M. MUCK [451 bis] et rappelée ci-dessus.

(1). Ces particularités de structures expliquent également certaines variations horizontales des teneurs en M. V. de veines de houille, mais dans ce cas, comme nous le verrons dans le livre deuxième de ce volume, le phénomène peut avoir une tout autre origine.

D'autre part, ces considérations sont pleinement d'accord avec certains résultats d'analyses antérieurement publiées.

#### *Analyse de la Veine Longterne, Fosse N° 2 de Longterne-Trichères (Bassin de Mons)* (d'après M. X. Stainier, [592])

	Mat. vol.	Carb. fixe	Cendres
Laie du toit. . . . .	25,10	72,40	2,50
Laie du milieu. . . . .	21,90	76,90	1,20
Laie du mur. . . . .	21,60	77,60	1,20
Veinules intercalées de Fusain . . . . .	6,60	91,20	2,20

#### *Analyses de deux charbons de la Veine Three Quarter du Mammouthshire* (d'après MM. Strahan et Pollard, [622])

	Mat. vol.	Carb. fixe	Cendres
Charbon brillant . . . . .	31,63	63,96	2,66
Charbon terne . . . . .	14,71	77,17	6,44

D'après tout ce qui a été dit plus haut la houille terne de la Veine Three Quarter doit être attribuée au Fusain.

Ces lits particuliers peuvent encore être formés par des couches de houille à caractères spéciaux telles que celle de la 4<sup>me</sup> veine de Nœux (Tabl. IX) qui contient 47,12 % de M. V., alors que les autres lits adjacents ne renferment que 38,52 et 39,72 % de produits volatiles. De tels lits passant au Cannel-coals sont assez nombreux parmi les veines de houille à hautes teneurs en matières volatiles du Bassin de la Sarre où d'après M. HOFFMANN [317] les lits de houille mate présentent des teneurs en M. V. oscillant entre 28,90 % et 62 % (Tabl. XI).

### Conclusions du chapitre dix-huitième

De l'étude chimique des différents lits ou sillons superposés dans les veines de houille l'on peut tirer les conclusions suivantes.

1<sup>o</sup> En un même point, tous les lits ou sillons superposés dans une veine de houille quelconque *sont constitués par des charbons qui appartiennent tous à la même grande catégorie chimique de houille*. En un point donné toutes les veines de houille sont donc constituées du mur au toit, soit par des houilles bitumineuses (M. V. > 26 %), soit par des houilles à coke (26 % > M. V. > 18 %), soit par des houilles anthraciteuses (M. V. < 18 %).

2<sup>o</sup> Les divers lits ou sillons superposés sur une même verticale présentent ordinairement de légères variations de compositions chimiques qui se traduisent *par des différences des teneurs en matières volatiles qui sont en général assez faibles* (quelques unités ou fractions d'unité, parfois moins d'une unité).

3<sup>o</sup> Dans les houilles bitumineuses où se remarquent parfois des écarts importants entre les teneurs en M. V. extrêmes des divers lits (écarts voisins de 10 % atteignant parfois 18 %) *les différences observées sont moins considérables que celles qui existent entre le Fusain et la houille encaissante*. Il en est exactement de même dans les houilles à coke où les divers lits superposés ne présentent guère de variations excédant 5 %.

4<sup>o</sup> Dans les houilles bitumineuses les écarts importants *sont parfois dûs, en partie, à la présence de lits très riches en matières volatiles s'apparentant aux Cannel-coals* (Gayets).

5<sup>o</sup> Dans tous les types de houille *des pourcentages de cendres élevés peuvent entraîner la diminution des teneurs en matières volatiles brutes de certains lits ou sillons* et déterminer des variations plus apparentes que celles qui indiquent uniquement des changements dans les conditions de sédimentation.

En dernière analyse, les variations de composition chimique des lits ou sillons superposés dans les veines de houille qui avaient été déjà signalées par divers auteurs, trouvent leur explication dans l'examen microscopique des charbons qui met en évidence *le caractère essentiellement hétérogène* des couches de roches combustibles et dans l'étude des constituants macroscopiques qui montre *que toutes les houilles des plus grasses aux plus maigres contiennent un élément anthraciteux*, le Fusain, dont la localisation dans certaines prises d'essais explique les différences importantes observées dans divers cas, en général assez rares.

## CHAPITRE DIX-NEUVIÈME

# Classification lithologique et chimique des Houilles du Nord de la France

### SOMMAIRE

- I. — HISTORIQUE. LES CLASSIFICATIONS CHIMIQUES ET TECHNIQUES DES HOUILLES.
  - A. — Classifications basées sur l'analyse immédiate. *Les nomenclatures utilisées dans les divers pays.*
  - B. — Classifications basées sur l'analyse élémentaire. *Classification de C. A. Seyler.*
  
- II. — CLASSIFICATION MIXTE DES HOUILLES DU NORD DE LA FRANCE. Concordance de la classification lithologique et de la classification chimique de Gruner.
  - A. — Équivalence des termes *houille de cutine* et *houille bitumineuse*.
  - B. — Équivalence des termes *houille ligneuse* et *houille à coke*.
  - C. — Équivalence des termes *houille cellulosique* et *houille anthraciteuse*.

Remarques sur les caractères et l'extension possible de cette classification mixte.

Aujourd'hui, comme au moment où le signalait J. CORNET ([138], § 1.302), il n'existe pas de classification parfaite des houilles, toutes celles qui ont été proposées reposant, soit sur les analyses immédiates, soit sur les analyses élémentaires des charbons qui ne rendent compte que très imparfaitement de leurs compositions chimiques exactes.

## I

### Historique

#### Les classifications chimiques et techniques des houilles

Ces classifications sont très nombreuses et varient plus ou moins les unes des autres suivant les langues employées et parfois dans les pays de même langue. Elles peuvent se classer en deux groupes distincts selon qu'elles procèdent de l'*Analyse immédiate* ou de l'*Analyse élémentaire* des houilles.

## A

## Classifications basées sur l'analyse immédiate.

Cette analyse consiste en la détermination des teneurs en matières volatiles, en carbone fixe, en cendres et en humidité des houilles étudiées. Elle permet, en outre, une appréciation des qualités des coques obtenus. Elle sert de base à une classification fort simple à trois termes qui, comme l'a fait remarquer J. CORNET, semble bien être applicable à tous les Bassins complets et à tous les pays. Dans l'ordre décroissant des teneurs en matières volatiles cette classification est la suivante :

1. — Houilles maigres ou sèches à longue flamme (ou houilles à gaz).
2. — Houilles grasses.
3. — Houilles maigres à courte flamme.

Chacun de ces trois termes dont l'appellation intermédiaire est sensiblement synonyme des variétés auxquelles on attribue le qualificatif « à coke » a pu être subdivisé en groupes secondaires qui caractérisent les différentes classifications.

La première en date, parmi celles qui furent généralisées, est la classification de HILT [314] parue en 1873.

	Mat. vol.
1. — Houilles sèches à longue flamme . . . . .	44,4 à 48,0 %
2. — Houilles demi-grasses à gaz. . . . .	40,0 à 44,4 %
3. — Houilles grasses à gaz . . . . .	33,3 à 40,0 %
4. — Houilles grasses à coke. . . . .	15,5 à 33,3 %
5. — Houilles demi-grasses inférieures. . . . .	10,0 à 15,5 %
6. — Houilles maigres et anthracites . . . . .	5,0 à 10,0 %

La classification de GRUNER [293] proposée peu de temps après (1874) comporte également six termes dont les délimitations sont un peu différentes.

	Mat. vol.
1. — Houilles sèches à longue flamme . . . . .	40 à 45 %
2. — Houilles grasses à longue flamme ou h. à gaz . . . . .	32 à 42 %
3. — Houilles grasses proprement dites, de forge ou h. grasses marécales . . . . .	26 à 32 %
4. — Houilles grasses à courte flamme ou h. à coke. . . . .	18 à 26 %
5. — Houilles maigres anthraciteuses. . . . .	10 à 18 %
6. — Anthracites. . . . .	8 à 10 %

En Belgique, F. L. CORNET [136] avait préconisé dès 1873 l'emploi de la classification suivante :

	Mat. Vol.
1. — Houilles maigres à longue flamme ou houilles flénues, . . . . .	38 à 42 %
2. — Houilles flénues grasses. . . . .	29 à 38 %
3. — Houilles maigres à longue flamme ou demi-grasses. . . . .	24 à 30 %
4. — Houilles grasses marécales ou houilles grasses. . . . .	18 à 25 %
5. — Houilles demi grasses à courte flamme . . . . .	10 à 19 %
6. — Houilles sèches à courte flamme ou houilles maigres . . . . .	M.V. < 10 %

En Allemagne, on utilise dans le Bassin de la Ruhr, qui contient tous les types de combustibles, les termes suivants :

	Mat. Vol.
1. — Gasflammkohlen . . . . .	37 à 45%
2. — { Gaskohlen . . . } Fettflammkohlen } . . . . .	33 à 37%
3. — Fettkohlen . . . . .	21 à 33%
4. — Smiedkohlen } . . . . .	
5. — Magerkohlen (Sandkohlen) . . . . .	5 à 20%
6. — Anthracite . . . . .	3 à 8%

En Angleterre, la terminologie la plus courante est la suivante :

	Mat. Vol. (environ)
1. — Splint-coal ou Dry coal . . . . .	38 à 42%
2. — Gas-coal ou Cherry coal . . . . .	24 à 38%
3. — Caking coal ou Smithy-coal . . . . .	18 à 25%
4. — Steam coal . . . . .	10 à 19%
5. — Swansea . . . . . }	
6. — Anthracite ou Stone coal } . . . . .	M.V. < 10%

Toutes ces terminologies qui sont d'un emploi commode dans chaque pays où elles ont été consacrées par l'usage ne peuvent guère être raccordées avec exactitude, les échelles de teneurs en matières volatiles différant parfois les unes des autres.

Enfin, elles présentent l'inconvénient d'utiliser des termes très analogues pour nommer des combustibles différents. C'est ainsi que le terme *houille grasse maréchale* ou *de forge* est employé en France pour désigner des charbons contenant de 26 à 32 % de matières volatiles, tandis que les mêmes termes en Belgique et les termes équivalents en Allemagne (Smiedkohlen) et en Angleterre (Smithycoal) s'appliquent à des charbons qui se classent parmi nos houilles à coke renfermant seulement de 18 à 26 % de matières volatiles.

Dans chaque région des termes locaux correspondant aux utilisations de chaque catégorie de combustibles sont passés dans l'usage courant, de sorte qu'il semble bien préférable, comme le faisait remarquer J. CORNET, de leur laisser dans les différents langages le sens qui leur est propre.

A l'opposé des classifications précédentes qui sont basées sur le facteur *teneur en matières volatiles*, qui est l'inverse de la *teneur en carbone fixe*, d'autres nomenclatures reposent sur certains rapports que l'on peut établir entre les données de l'analyse immédiate.

Dès 1879, PERSIFOR FRAZER [249 bis et 249 ter], Docteur ès sciences de l'Université de Lille, proposa de distinguer les diverses catégories de combustibles par le rapport  $\frac{\text{Carbone fixe}}{\text{Matières volatiles}}$  qu'il désignait sous le nom de *fuel ratio*. Ce rapport est supérieur à 12 pour les anthracites et inférieur à cette valeur pour les houilles proprement dites. Pour les houilles grasses il oscille entre 1,2 et 7.

En 1913, un comité du *Congrès géologique international* <sup>(1)</sup> a proposé à Toronto d'adopter une classification due à M. D. B. DOWLING où intervient le rapport  $\frac{\text{Carbone fixe} + \frac{1}{2} \text{ Mat. vol.}}{\text{Humidité} + \frac{1}{2} \text{ Mat. vol.}}$

(1). Voir : *The Coal Resources of the World*. Enquête faite sur l'initiative du Comité exécutif du XII<sup>e</sup> Congrès géologique international, Canada, 1913, Vol. I, p. xi.

## B

## Classifications basées sur l'analyse élémentaire.

Ces classifications sont basées sur les rapports que l'on peut établir entre les divers éléments (C, O, H, Az, S) dont les pourcentages respectifs sont mis en évidence par les analyses chimiques.

M. M. C. A. SEYLER [561] (1900) et M. R. CAMPBELL [125] (1906) ont proposé de classer les charbons d'après le rapport  $\frac{\text{carbone}}{\text{hydrogène}} \left( \frac{\text{C}}{\text{H}} \right)$ .

M. E. F. GROUT [289 bis] a basé sa classification sur les rapports existant entre les teneurs en Carbone, en Hydrogène et en Oxygène et a pu ainsi représenter graphiquement les charbons grâce à des diagrammes triangulaires analogues à ceux que l'on utilise pour figurer la composition des roches éruptives.

MM. GRUNER et BOUSQUET ont donné pour chacune des catégories qu'ils ont distinguées (Tableau XXXIX) les rapports  $\frac{\text{Oxygène} + \text{Azote}}{\text{Hydrogène}}$ .

M. A. STRAHAN a proposé de classer les houilles d'après leur valeur calorifique relative calculée d'après leurs teneurs en Carbone, Hydrogène et Soufre et de les représenter ainsi par un nombre exprimant la quantité de substances combustibles qu'elles contiennent.

M. S. W. PARR a préconisé l'emploi du rapport du *carbone total* au *carbone des matières volatiles* en tenant compte des matières volatiles inertes (incombustibles).

Enfin, l'on a parfois combiné les résultats des analyses élémentaires et immédiates. Dans cet ordre d'idée M. E. F. GROUT [289 bis et 290] a classé les houilles en utilisant le rapport du *carbone fixe* (coke) au *carbone total*. En ce qui concerne les houilles paléozoïques il a proposé les distinctions suivantes :

1. — Houilles bitumineuses (type A).
2. — Houilles bitumineuses (type B)
3. — Houilles semi-bitumineuses.
4. — Semi anthracites.
5. — Anthracites.

Parmi ces classifications je n'insisterai ici que sur celle de M. SEYLER [561] qui est la plus complète et qui a fait l'objet d'une récente mise au point [563].

Cette classification permet de distinguer plusieurs *genres* de charbons (Anthracitic, Carbonaceous, semi-bituminous, bituminous et per-bituminous) *d'après leur teneur en hydrogène*, chaque genre se subdivisant lui-même en *espèces* caractérisées *par les teneurs en carbone*. Les traductions littérales des termes proposés par M. C. A. SEYLER sont données par le Tableau XXXVIII.

TABLEAU XXXVIII

CLASSIFICATION CHIMIQUE DES HOUILLES DE C. A. SEYLER

Teneurs en hydrogène %	Teneurs en Carbone %	plus de 93,3	93,3 à 91,2	91,2 à 89,0	89,0 à 87,0	87,0 à 84,0	84 à 80	80 à 75
	Genres et Espèces	Anthracitique	Carbonique	Méta- Bitumineux	Ortho- Bitumineux	Para- Bitumineux	Méta- Ligniteux	Ortho- Ligniteux
plus de 5,8	GENRE PER-BITUMINEUX	—	—	Per-Méta-bitumineux	Per-ortho-bitumineux	Per-para-bitumineux	Perligniteux	
5,0 à 5,8	GENRE BITUMINEUX	—	Pseudo-bitumineux (espèce)	Méta-bitumineux	ortho-bitumineux	Para-bitumineux	Méta-ligniteux	Ortho-ligniteux
4,5 à 5,0	GENRE SEMI-BITUMINEUX	—	Semi-bitumineux (espèce) Ortho-semi-bitumineux	Sub-bitumineux méta-bitumineux	Sub-bitumineux ortho-bitumineux	Sub-bitumineux para-bitumineux	Sub-méta-ligniteux	Sub-ortho-ligniteux
4,0 à 4,5	GENRE CARBONIQUE	Semi-anthracitique (espèce)	Carbonique (espèce) ortho-carbonique	Pseudo-carbonique Sub-méta-bitumineux	Pseudo-carbonique Sub-ortho-bitumineux	Pseudo-carbonique Sub-para-bitumineux	—	—
moins de 4,0	GENRE ANTHRACITIQUE	Ortho-anthracitique	Pseudo-anthracite sub-carbonique	Pseudo-anthracite Sub-méta-bitumineux	Pseudo-anthracite Sub-ortho-bitumineux	Pseudo-anthracite Sub-para-bitumineux	—	—

Dans cette classification qui est des plus complètes, l'emploi du terme « *ligniteux* » (*lignitoux*) utilisé par M. C. A. SEYLER pour désigner les houilles les plus riches en matières volatiles <sup>(1)</sup>, terme emprunté par cet auteur à MAHLER, présente de sérieux inconvénients qui apparaissent clairement aujourd'hui que les caractères pétrographiques de ces genres de charbons sont bien connus.

Ce terme *ligniteux* invoque l'idée d'une origine ligneuse. Or, les houilles en question ne contiennent que des proportions assez faibles de tissus ligneux et sont surtout constituées par des accumulations de spores et de cuticules.

D'autre part, l'usage de ce terme *ligniteux* incite à admettre l'étroite parenté entre ces genres de houilles très riches en M. V. et les lignites qui a toujours été soutenue par ceux qui considèrent que les tourbes, les lignites, les houilles et les anthracites représentent des stades évolutifs d'une même série. Or, cette parenté est complètement infirmée par les recherches microscopiques actuelles qui révèlent plus d'analogies que de différences entre les houilles flambantes et les houilles grasses à gaz, d'une part, et les lignites, d'autre part ; ces derniers combustibles étant beaucoup plus proches pétrographiquement de certains anthracites que des houilles très riches en matières volatiles.

Enfin, ces mêmes recherches microscopiques ont montré aujourd'hui que les houilles très riches en M. V. sont étroitement apparentées lithologiquement et chimiquement aux *Cannel coals* et chimiquement aux *Bogheads* (charbons d'algues) qui forment un groupe de combustibles solides dont les caractères chimiques sont intermédiaires entre ceux des houilles en question et les caractères des bitumes naturels dont font partie les pétroles. Dans ces conditions, il paraît difficile, sans amener certaines contradictions avec le langage courant qui ici rend compte exactement d'une des propriétés essentielles des dits charbons, de ne pas attribuer le qualificatif *bitumineux* aux entités auxquelles on veut réserver celui de *ligniteux*.

Ces remarques sont d'ordre terminologique et ne visent en aucune façon les principes de la classification de SEYLER qui conservent tout leur intérêt et toute leur valeur.

Les deux types de classifications chimiques des houilles, que nous venons d'étudier, présentent des avantages et des inconvénients qui expliquent leur coexistence.

L'intérêt de l'*analyse immédiate* et la valeur des facteurs teneurs en matières volatiles et teneurs en carbone fixe ont été souvent niés, ces données ayant été parfois considérées comme fluctuantes. En se basant sur le fait que des charbons à mêmes teneurs en M. V. réagissent différemment lors des traitements industriels, l'on a également affirmé que le caractère teneur en M. V. et son inverse la teneur en carbone fixe n'ont que des valeurs très relatives, et qu'en conséquence les classifications qui les utilisent sont forcément très imparfaites. D'autre part, l'on a également insisté sur l'inconvénient que présente l'impossibilité où l'on se trouve de raccorder les classifications de ce type utilisées dans les divers pays pour lesquels les limites adoptées ne sont pas identiques.

En réalité, les recherches microscopiques et chimiques récentes et surtout la coordination de ces deux modes d'investigation, semblent bien indiquer que la plupart de ces griefs sont

(1). Les espèces groupées sous le nom de *lignitoux* comprennent les *houilles sèches à longue flamme* et les *houilles grasses à gaz* de GRUNER.



injustifiés, les variations observées ayant une tout autre signification que celles qu'on leur attribuait. Si certaines de ces variations peuvent être imputées à l'imperfection des procédés expérimentaux, qui ont du reste été perfectionnés au cours de ces dernières années, *la plupart d'entre elles doivent être attribuées à la nature hétérogène de la roche combustible* qui, comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, explique bien des anomalies que l'on peut, désormais, prévoir et que l'on considérerait jusqu'ici comme n'obéissant à aucune loi.

Quant à l'absence de coordination des nomenclatures usitées dans les divers pays ou gisements, il semble bien d'après ce qui a été dit plus haut qu'on ne doit pas l'attribuer, comme on a été tenté de le faire jusqu'ici, au jeu du hasard ou de la volonté de chaque auteur, *mais au fait que les variations dans les limites adoptées rendent compte des différences existant entre les houilles des divers gisements*. Comme le faisait très justement remarquer J. CORNET ([138], § 1.305), il y a intérêt à conserver les dénominations utilisées dans les différents pays, car il semble aujourd'hui évident que seules des classifications locales peuvent s'adapter exactement à une série donnée de charbons paléozoïques. Vouloir établir une classification générale conduit à ce résultat irrationnel de vouloir assimiler des catégories de houilles qui bien que très voisines ne sont pas absolument semblables.

Cette impossibilité d'établissement d'une nomenclature universelle ressort clairement des variations de composition chimique des houilles dites à coke qui présentent toutes ce caractère commun et essentiel de donner des cokes de bonne qualité. D'après M. SADAŌ IKI [331], alors que les houilles à coke américaines ou européennes contiennent de 20 à 30 % de matières volatiles <sup>(1)</sup>, les bonnes houilles à coke japonaises présentent des teneurs en matières volatiles comprises entre 30 et 40 %. Pour les premières le *fuel ratio* est compris entre 1,8 et 4,0, tandis que pour les secondes il est toujours inférieur à 1,8.

Par contre, ces classifications basées sur les analyses immédiates présentent les avantages, d'une part, de n'exiger que l'accomplissement d'opérations simples, faciles et pouvant être faites rapidement et, d'autre part, de tenir compte des usages courants des houilles ; les termes employés pour désigner chaque catégorie indiquant clairement ses propriétés techniques essentielles.

Il n'est pas douteux que dans bien des cas l'*analyse élémentaire* permet de mieux se rendre compte de la composition chimique d'un charbon, bien qu'assez souvent des combustibles quasi-identiques quant à leur composition chimique élémentaire se révèlent à l'analyse immédiate comme possédant des propriétés industrielles essentiellement différentes.

Ceci tient à ce qu'en réalité les analyses élémentaires comme les analyses immédiates ne rendent que très imparfaitement compte de la composition chimique réelle des charbons, car dans ce domaine, comme dans tous ceux de la chimie organique, l'analyse immédiate fournit peu d'indications sur la nature des corps qui dépend surtout de l'architecture de la molécule.

Par contre, ces classifications exigent l'exécution d'opérations longues et délicates et con-

(1). En Europe même, ces pourcentages varient suivant les pays et les gisements. (Allemagne, 21 à 33% ; Angleterre, 18 à 25% ; Belgique, 18 à 25% ; France, 18 à 26%). HILT considérait comme *houilles à coke* celles renfermant de 15,5 à 33, 3% de matières volatiles.

duisent lorsqu'on veut aboutir à des distinctions plus précises que celles données par l'analyse immédiate à l'adoption de termes nombreux et conventionnels qui font qu'elles ne peuvent guère être utilisées que par les chimistes spécialisés dans l'étude des houilles.

De ce qui précède, l'on peut donc conclure que les classifications basées sur les analyses immédiates des houilles qui ont été parfois désignées sous le nom de *classifications empiriques* ([138], § 1.304) présentent le grand avantage d'être simples et de comporter des termes rappelant clairement les propriétés techniques des houilles.

Si l'on ajoute à cela qu'elles se superposent exactement à la classification lithologique dont les termes ont fait l'objet du Chapitre XVII<sup>e</sup>, l'on acquiert la certitude *que leurs entités correspondent bien à des réalités objectives*.

Quant aux variations constatées entre les classifications empiriques des divers pays, *elles ne font que traduire celles que présentent dans les différents gisements les combustibles similaires*. Ces variations sont nécessaires et inévitables, car elles assurent à chaque nomenclature la souplesse qui leur permet de s'adapter exactement à chaque cas particulier.

## II

### Classification des houilles du Nord de la France

La classification des houilles dont je propose l'adoption est basée sur un tout autre principe que les classifications précédentes et repose uniquement sur les caractères pétrographiques de ces roches combustibles parmi lesquelles on peut distinguer :

}	I. — LES CHARBONS DE CUTINE	}	1 <sup>o</sup> Charbons de spores 2 <sup>o</sup> Charbons de cuticules
}	II. — LES CHARBONS LIGNO-CELLULOSIQUES	}	1 <sup>o</sup> Charbons ligneux 2 <sup>o</sup> Charbons celluloseux

Chaque terme de cette nomenclature est caractérisé *par la prédominance ou le développement important des substances végétales dont le nom est rappelé dans les appellations qui les désignent* sans que les dites appellations impliquent *forcément* l'absence totale des autres substances végétales.

Envisagée uniquement au point de vue lithologique, cette classification s'applique telle quelle à toutes les houilles paléozoïques du monde qui ont été étudiées jusqu'ici comme cela est mis en évidence par les observations de nombreux chercheurs <sup>(1)</sup> et les examens de houilles étrangères que j'ai pu moi-même effectuer.

(1). Voir en particulier les travaux de M. M. BODE et JEFFREY qui ont signalé l'absence de spores et de cuticules dans les houilles maigres ou dans les houilles à coke.

Dans le Bassin franco-belge cette classification lithologique peut dans l'ensemble des roches combustibles exploitées être exactement superposée à la classification chimique et technique de Gruner.

Ceci résulte des examens microscopiques et des analyses immédiates, non seulement des veines de houille dont les compositions chimiques figurent dans le Chapitre XVIII<sup>e</sup>, mais encore de l'étude d'un grand nombre de couches de houille où des prélèvements ont été faits en des points bien repérés du gisement. Si l'on fait abstraction de quelques exceptions, sur lesquelles je reviendrai expressément un peu plus loin, l'on constate que dans l'ensemble du Bassin houiller les trois grands types chimiques que j'ai distingués au début du Chapitre XVIII<sup>e</sup> correspondent à trois types pétrographiques bien définis, la concordance s'établissant de la façon suivante :

A. — Les HOUILLES BITUMINEUSES (M. V. > 26 %) sont dans toute l'étendue du gisement représentées exclusivement par des CHARBONS DE CUTINE parmi lesquels dominent les charbons de spores. Les charbons de cuticules abondants dans certaines veines du gisement du Pas-de-Calais sont, du reste, identiques au point de vue chimique aux charbons de spores, de sorte que la distinction établie entre les deux types de houilles de cutine est purement morphologique et a surtout de l'importance au point de vue sédimentaire en ce sens qu'elle indique un classement mécanique des divers types de débris cutinisés.

Dans cette série des houilles bitumineuses l'on constate que sans variations appréciables des caractères lithologiques les propriétés des cokes obtenus peuvent être très différentes. Les termes les plus riches en M. V. (houilles flambantes, M. V. > 40 %) donnent des cokes peu volumineux, souvent pulvérulents, tandis que le terme intermédiaire (houilles grasses à gaz, 32 % < M. V. < 40 %) fournit des cokes boursoufflés et poreux (cokes d'usine à gaz). Quant aux variétés les moins riches en matières volatiles (houilles grasses maréchaux, 26 % < M. V. < 32 %) elles permettent d'obtenir suivant les cas, soit des cokes d'usine à gaz, soit des cokes se rapprochant beaucoup de ceux fournis par les houilles à coke (cokes métallurgiques).

B. — Les HOUILLES A COKE <sup>(1)</sup> (26 % > M. V. > 18 %) correspondent aux CHARBONS LIGNEUX, c'est-à-dire au type des houilles ligno-cellulosiques caractérisé à la fois par l'abondance des débris de tissus ligneux bien conservés et le développement sensiblement égal d'une pâte ou ciment amorphe.

(1). Ce terme *houille à coke* est pris ici dans le sens strict qu'il possède dans la classification de GRUNER où il s'applique à des charbons donnant normalement dans les conditions ordinaires des cokes de bonne qualité (cokes métallurgiques). Il est alors à peu près l'équivalent des « houilles grasses maréchaux » ou « h. grasses », des « Caking-coals » ou « Smithy coals » des classifications belges et anglaises et correspond approximativement à une partie seulement des « houilles grasses à coke » de HILT et des « Fettkohle » allemands.

Au cours de ces dernières années l'usage s'est établi d'attribuer le qualificatif « à coke » à toutes les houilles entrant dans la confection des mélanges utilisés dans la fabrication des cokes métallurgiques. On a ainsi distingué les « high volatile caking coals » et les « low volatile caking coals » qui présentent cette contradiction d'être en réalité des houilles très grasses et des houilles maigres à pouvoirs cokéfiantes faibles ou nuls. Ceci est d'autant plus regrettable que dans tous les mélanges cokéfiables les houilles à coke proprement dites jouent toujours un rôle essentiel en ce sens qu'elles entrent pour une forte proportion dans les mixtures utilisées.

Pour éviter une fois de plus des ambiguïtés et des confusions, il est nécessaire, à mon avis, de limiter désormais l'application du qualificatif « à coke » aux houilles susceptibles de donner à l'état brut de bons cokes métallurgiques.

Pour la définition des termes ambigus dont il est question dans cette note, voir :

H. J. Rose. — *Fuel.*, Vol. V, (1926), n° 12, p. 570.

Ces houilles donnent des coques durs sonores et cohérents utilisables dans les hauts fourneaux (coques métallurgiques).

C. — Les HOUILLES ANTHRACITEUSES (18 % > M. V.), qui dans ce sens large du terme comprennent *tous les combustibles maigres riches en carbone fixe* des houilles maigres aux anthracites les plus typiques, sont à l'état de CHARBONS CELLULOSIQUES, c'est-à-dire du type des *houilles ligno-cellulosiques* caractérisé par le grand développement de la pâte ou ciment amorphe et la rareté relative des débris de bois ou de sclérenchyme qui sont, en règle générale, très altérés, soit par gélification, soit par action mécanique (morcellement).

Ces houilles ne donnent pas de coke dans le sens propre du terme, les résidus de distillation étant noirs, non fondus pulvérulents ou faiblement agglomérés.

Dans le Nord de la France, la classification lithologique se superpose donc assez étroitement à la classification technique basée sur les qualités essentielles des coques.

Quant aux divisions chimiques secondaires des houilles bitumineuses et des houilles anthraciteuses elles ne correspondent pas à des variations sensibles des caractères lithologiques, fait qui montre bien qu'à côté des différences originelles des dépôts initiaux qui ont présidé à la formation des grands types lithologiques et chimiques que nous venons d'étudier, certaines actions secondaires ont pu contribuer à la différenciation des types secondaires en question <sup>(1)</sup>.

La concordance de la classification lithologique et de la classification chimique de GRUNER est donnée par le Tableau XXXIX qui résume le développement précédent et donne les caractéristiques chimiques et techniques des différents types de combustibles exploités dans le Nord de la France. Certaines données de ce tableau ont été empruntées à un mémoire de M. CH. BARROIS [12], en particulier les termes techniques couramment employés dans le Nord de la France.

Les types lithologiques mixtes que je n'ai fait figurer sur ce tableau que pour mémoire, en raison de leur rareté, se classent nettement par leurs caractères chimiques et techniques entre les charbons de cutine et les charbons ligneux.

Pour terminer ce chapitre je tiens à faire quelques remarques qui me permettront de préciser certains caractères de cette classification pétrographique et chimique des houilles.

#### 1° VALEUR RELATIVE DES NOMBRES DONNÉS COMME LIMITES.

Les nombres donnés comme limites entre les grands types pétrographiques de houille, notamment les valeurs des teneurs en matières volatiles (26 % entre les charbons de cutine et les charbons ligneux, 18 % entre ces derniers et les charbons cellulosiques), ne doivent pas être considérés comme ayant des valeurs absolues, *les valeurs réelles pouvant osciller légèrement de part et d'autre de ces nombres*. Néanmoins, il est permis d'affirmer que les dépassements importants sont extrêmement rares puisque je ne les ai jamais observés, pour ma part, au cours de mes recherches, et que les dépassements faibles sont eux-mêmes peu fréquents.

(1). Ces actions secondaires seront étudiées en détail dans la deuxième partie de ce mémoire (Voir les chapitres consacrés à l'étude de la genèse des houilles paléozoïques).

TABLEAU XXXIX

CLASSIFICATION LITHOLOGIQUE DES HOUILLES DU NORD DE LA FRANCE

(Concordance avec la classification de Gruner)

TERMINOLOGIE PÉTROGRAPHIQUE		Grandes divisions chimiques des houilles	TERMINOLOGIE DE LA CLASSIFICATION DE GRUNER	Mat. vol. %	Carb. fixe %	CARACTÈRES DU COKE	Carbone total %	Hydrogène %	O + Az %	Rapport $\frac{O + Az}{H}$	Densité	Pouvoir calorifique réel
Houilles ou Charbons de cutine	A CHARBONS DE SPORES ET CHARBONS DE CUTICULES	HOUILLES OU CHARBONS BITUMINEUX	Houilles sèches à longue flamme ( <i>houilles flambantes, Flénus secs</i> )	45 à 40	55 à 60	Souvent pulvérulent	75 à 80	5,5 à 4,5	19,5 à 15,5	4 à 3	1,25	8.000 à 8.500
			Houilles grasses à longue flamme ( <i>houilles grasses à gaz, Flénus gras</i> )	42 à 32	60 à 68	Boursoufflé poreux	80 à 85	5,8 à 5,0	14,2 à 10,0	3 à 2	1,25	8.500 à 8.800
			Houilles grasses proprement dites ( <i>houilles grasses marécales</i> )	32 à 26	68 à 74	Boursoufflé léger	84 à 89	5,0 à 5,5	11,0 à 5,5	2 à 1	1,28	8.800 à 9.300
Charbons mixtes (type pétrographique rare)												
Houilles ou Charbons ligno-cellulosiques	B CHARBONS LIGNEUX ( <i>tissus ligneux nombreux, ciment abondant</i> )	HOUILLES OU CHARBONS A COKE	Houilles grasses à courte flamme  ( <i>Houilles à coke</i> ) ( <i>houilles 3/4 grasses</i> )	26 à 18	74 à 82	Dur, Sonore, compact et cohérent	89 à 91	5,5 à 4,5	6,5 à 4,5	1 environ	1,32	9.300 à 9.600
			C CHARBONS CELLULOSIQUES ( <i>ciment prédominant, tissus ligneux, rares et altérés</i> )	HOUILLES OU CHARBONS ANTHRACITEUX	Houilles maigres anthraciteuses ( <i>houilles 1/2 grasses</i> )	18 à 10	82 à 90	Noir non fondu le plus souvent pulvérulent	90 à 93	4,5 à 4,0	5,5 à 3,0	<1
	Anthracites	<10			>90		93 à 95	4,0 à 2,0	3,0 à 2,0	1,0 à 0,5	1,40 à 1,70	9.000 à 9.200

IX L

25

Ce caractère non tranché des dites limites est d'ailleurs normal car, comme nous le verrons dans le livre deuxième de ce travail, *chaque type pétrographique de charbon* que nous observons aujourd'hui *résulte de l'amaigrissement du fait d'actions secondaires* des divers types lithologiques d'accumulations végétales. Les valeurs de ces amaigrissements variaient suivant les conditions de sédimentation, de sorte que dans certains cas elles ont pu être exceptionnellement faibles ou anormalement élevées ; circonstances qui expliquent les oscillations des valeurs réelles de part et d'autre des limites indiquées.

### 2° EXCEPTIONS OBSERVÉES DANS LA CONCORDANCE DE LA CLASSIFICATION LITHOLOGIQUE ET DE LA CLASSIFICATION DE GRUNER.

La concordance entre les classifications lithologique et chimique est vraie dans le Bassin houiller du Nord de la France et de la Belgique, *pour la quasi totalité des cas observés*. Elle souffre néanmoins quelques exceptions sur lesquelles je tiens à insister ici pour souligner dès maintenant leur signification exacte.

Toutes les houilles à hautes teneurs en matières volatiles (h. bitumineuses) sont des charbons de cutine (ch. de spores ou ch. de cuticules), mais pour des raisons que laisse entrevoir le développement précédent *toutes les houilles de cutine ne sont pas forcément des houilles bitumineuses*. En règle générale, l'amaigrissement ultime des accumulations de spores et de cuticules a abouti à la formation de houilles grasses marécales ( $32\% > M. V. > 26\%$ ), mais ce stade a pu être dépassé dans certains cas qui ont été rencontrés, assez rarement il est vrai, dans nos gisements. Des lits riches en spores ont pu être observés dans certaines veines anthraciteuses du Siège n° 2 bis de Bruay (Pl. X, Fig. 50) et dans la veine de Derrière au siège N° 5 du Charbonnage de Mariemont-Bascoup (Belgique) ([212 bis], Pl. XI, Fig. 4 et 5).

Enfin, à la Fosse Dechy des Mines d'Aniche, la veine Sainte-Barbe bis se présente sous forme d'une houille mixte riche en macrospores bien que ne contenant que 24,20 % de matières volatiles et se classant, par conséquent, parmi les houilles à coke.

De même, les *houilles ligneuses sont ordinairement des charbons à teneurs moyennes en matières volatiles* (houilles à coke,  $26\% > M. V. > 18\%$ ), mais les dépôts organiques qui leur ont donné naissance ont pu parfois subir des amaigrissements anormaux qui les ont amenés à l'état de houille anthraciteuse comme c'est précisément le cas pour la veine Bernard (= Poissonnière) exploitée à la Fosse Déjardin des Mines d'Aniche (Pl. L, Fig. 250) et dans la plupart des lits élémentaires de la veine de Derrière aux Sièges Sainte-Henriette et n° 7 ([213 bis], Pl. X, Fig. 1 à 4) et au Siège n° 5 ([212 bis], Pl. XI, Fig. 1 à 3) de Mariemont-Bascoup.

Ces exceptions paraissent être assez rares dans le gisement du Nord de la France et mettent surtout en évidence le rôle prépondérant des différenciations initiales sur les actions modificatrices ultérieures dans les cas normaux auxquels s'applique la classification mixte que j'ai proposée.

### 3° EXTENSION DE LA CLASSIFICATION PROPOSÉE A D'AUTRES GISEMENTS.

D'après les recherches de différents auteurs et les observations que j'ai pu faire moi-même sur diverses houilles paléozoïques étrangères, il semble bien que la classification pétrographique, abstraction faite de sa concordance avec les classifications chimiques, puisse être appliquée dans tous les gisements dont les houilles ont été actuellement étudiées.

Quant à la classification mixte, tenant compte de cette concordance, elle ne s'applique rigoureusement qu'aux houilles du Nord de la France pour lesquelles son exactitude a pu être vérifiée en de nombreux points différents du gisement. Elle semble également pouvoir être appliquée, sans grande modification, au Bassin belge dont le gisement français n'est que le prolongement et au Bassin belgo-hollandais de la Campine et du Limbourg où un certain nombre d'observations permettent d'admettre qu'elle se trouve vérifiée.

En ce qui concerne des gisements plus éloignés comme ceux de la Ruhr ou d'Angleterre, il semble que cette extension ne sera possible que lorsque les combustibles de ces différents bassins auront fait l'objet de recherches systématiques qui fixeront leurs caractères pétrographiques. Dès maintenant, en tenant compte des différences d'échelles admises dans ces divers pays en ce qui concerne les classifications qui ont été rappelées au début de ce chapitre, *il semble que cette extension ne pourra être faite qu'en modifiant légèrement les limites des différents types chimiques.*

Autrement dit, dans tout essai d'extension de la classification mixte des houilles du Nord de la France à un autre gisement, il y aura toujours lieu de vérifier, tout d'abord, si aux différences mises en évidence par les classifications chimiques ou techniques correspondent des variations des caractères pétrographiques, de sorte que dans tous les cas la solution du problème posé ne peut être recherchée que dans le domaine des investigations microscopiques.

#### 4<sup>o</sup> IMPOSSIBILITÉ D'EXTENSION DE LA CLASSIFICATION MIXTE AUX GISEMENTS DE HOUILLE MÉTAMORPHISÉS.

Cette classification mixte ne peut naturellement s'appliquer qu'aux gisements qui n'ont pas subi d'actions métamorphiques dans le sens propre du terme ou qui n'ont été que légèrement métamorphisés, la concordance entre les nomenclatures pétrographique et chimique ne pouvant être établie que lorsque les actions secondaires n'ont pas présenté une intensité suffisante pour effacer les différences originelles des dépôts initiaux [208, 211 bis, 211 ter].

Dans les gisements tels que ceux de Pennsylvanie, qui ont subi l'action uniformisante d'un métamorphisme qui est venu s'ajouter aux actions diagénétiques normales et où tous les types de combustibles ont été transformés en anthracites ou en houilles maigres, *il ne peut être question que d'appliquer la classification purement lithologique* comme cela ressort clairement d'une étude que j'ai publiée en collaboration avec M. J. R. FANSHAWE [212].

### Conclusions du chapitre dix-neuvième

De l'exposé précédent l'on peut tirer les conclusions suivantes :

1<sup>o</sup> La *classification lithologique* comprenant les trois entités que j'ai décrites dans le Chapitre XVII<sup>e</sup> sous les noms de houilles de cutine, houilles ligneuses et houilles cellulosiques, qui sert de base à la classification mixte exposée dans le présent chapitre, *possède un caractère général* et semble dans l'état actuel de nos connaissances pouvoir être appliquée à tous les gisements paléozoïques y compris ceux qui ont subi l'action subséquente d'un métamorphisme.

2° La *classification mixte* que je viens de décrire et qui comporte une coordination de la classification lithologique et de la classification chimique de Gruner *ne s'applique*, au contraire, *qu'aux gisements du Nord de la France et des régions voisines*. Elle ne pourra être adaptée rationnellement à des gisements plus éloignés qu'à la suite d'études microscopiques qui permettront seules de se rendre compte de la véritable signification des variations de composition chimique que révèlent les différences d'échelles utilisées dans les classifications techniques des divers pays.

3° Cette absence d'universalité d'application, le défaut de valeur absolue des limites numériques adoptées et les exceptions qu'elle comporte doivent être considérées comme inévitables et *rendent compte, en réalité, de la complexité de la nature même des choses* ; les entités que l'on était habitué jusqu'ici à considérer comme identiques différant plus ou moins les unes des autres.

En résumé, de cette étude de la classification mixte des houilles se dégage cette notion très générale que les classifications rigoureuses des entités naturelles ne peuvent être que des fictions de l'esprit humain et que *les classifications les plus souples elles-mêmes ne sont toujours que des cadres trop étroits pour pouvoir renfermer tous les termes naturels dont les variations sont, en réalité, infinies*.

Dans ce domaine de la classification des houilles, comme dans celui de l'étude des constituants macroscopiques de ces roches combustibles, l'on ne saurait trop insister sur le fait que la recherche de classifications ou de terminologies générales et rigoureuses ne constitue pas un progrès et risque plutôt d'obscurcir et de compliquer des questions au demeurant fort simples et dont la seule complexité est en rapport avec la nature même des substances auxquelles elles s'appliquent.

---



## CHAPITRE VINGTIÈME

# Distribution des différents types pétrographiques de Charbon dans le Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais

### SOMMAIRE

- I. — VARIATIONS HORIZONTALES DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES COUCHES DE HOUILLE DU NORD DE LA FRANCE. — Amalgamement progressif vers le Nord et vers le Sud des houilles à hautes teneurs en matières volatiles de la zone médiane du gisement.
- II. — RAPPORT ENTRE LE TYPE LITHOLOGIQUE DES HOUILLES ET LEUR POSITION GÉOGRAPHIQUE DANS LE GISEMENT. — 1<sup>o</sup> Bande médiane des houilles de cutine. — 2<sup>o</sup> Bandes occidentale et méridionale des houilles ligneuses. — 3<sup>o</sup> Bande occidentale de houilles celluloseuses. — 4<sup>o</sup> Répartition dans le gisement des couches de Gayet (Cannel-coals, Pseudo-Cannel-coals, Bogheads).
- III. — INDÉPENDANCE ENTRE LE TYPE LITHOLOGIQUE DES HOUILLES ET LEUR POSITION STRATIGRAPHIQUE. — 1<sup>o</sup> Distribution verticale des charbons de cutine. — 2<sup>o</sup> Distribution verticale des charbons ligneux. — 3<sup>o</sup> Distribution verticale des charbons celluloseuses.
- IV. — VARIATIONS HORIZONTALES DES CARACTÈRES LITHOLOGIQUES DES VEINES DE HOUILLE. — A. — Étude des variations de la Veine Poissonnière. — 1<sup>o</sup> Points où la Veine Poissonnière a été observée à l'état de houille de cutine. — 2<sup>o</sup> Points où la Veine Poissonnière a été observée à l'état de houille ligneuse. — 3<sup>o</sup> Points où la Veine Poissonnière a été observée à l'état de houille celluloseuse. — 4<sup>o</sup> Teneurs en Soufre de la Veine Poissonnière aux différents points de prises. — 5<sup>o</sup> Conclusions de l'étude de la Veine Poissonnière. — B — Étude des variations de la Veine Dusouich dans les Concessions de Béthune, de Courrières, de Lens et de Liévin. — C — Étude des variations de la Veine Ernestine dans la Concession de Lens.

La distribution des divers types pétrographiques de houille dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais ne se fait pas au hasard, mais *obéit à certaines lois* que les faits exposés dans les chapitres précédents permettent d'entrevoir en partie et au moins dans leurs grandes lignes ; la concordance des entités lithologiques et des entités chimiques (Chapitre XIX<sup>e</sup>) conduisant logiquement à cette conclusion *que la composition pétrographique des veines de houille varie exactement de la même façon que leur composition chimique* dans les conditions qui ont été définies par certains travaux antérieurs.

En effet, les variations horizontales de la composition chimique des houilles du Nord de la France ont été remarquées dès l'origine par les premiers explorateurs. Les prospecteurs qui rencontrèrent en 1720 la houille à Fresnes, sous les morts-terrains, recherchèrent au midi de ce point la position du charbon plus riche en matières volatiles dès qu'ils eurent reconnu la composition maigre du combustible qu'ils avaient découvert, guidé en cela par la structure déjà connue du gisement belge.

Les causes de ces différences de composition chimique furent d'ailleurs discutées par tous les savants qui ont décrit le bassin, notamment par DUSOUICH, OLRV, DE SOUBEYRAN, GOSSELET, POTIER et MARCEL BERTRAND.

## I

## Variations horizontales de la composition chimique des veines de houille du Nord de la France

M. CH. BARROIS a contribué par l'étude de la *Veine Poissonnière* [20] à serrer de plus près le problème en établissant que les veines très grasses du Sud, les veines grasses de la région médiane et les veines maigres de la bordure nord du gisement *ne sont que la répétition à la faveur de plis, s'étirant parfois sous forme de failles, d'une seule et même série de couches de roche combustible.*

Cette découverte, qui venait infirmer l'opinion émise par certains que les trois bandes en question représentaient une série continue dont les couches les plus anciennes se trouvaient placées au Nord tandis que les plus récentes occupaient le bord sud du gisement, remettait du même coup en question le problème des causes de la différenciation des charbons du Nord de la France, la loi de HILT invoquée jusque-là ne se trouvant plus vérifiée que dans chaque bande considérée isolément.

Cette découverte avait en même temps une conséquence théorique considérable puisqu'elle démontrait que les houilles grasses du sud sont de même âge que les houilles maigres du Nord et *qu'il y a contemporanéité dans la formation des divers types chimiques de houille.*

Des travaux de détails publiés comme le mémoire de M. CH. BARROIS dans les *Annales de la Société géologique du Nord* sont venus démontrer que cet amaigrissement général des couches de houille vers le Nord se produit d'une façon lente et continue dans chaque veine de houille considérée en elle-même. M. P. GÉNY [254] a pu ainsi étudier un certain nombre de veines de la concession de Courrières et établir leurs *courbes isoanthracitiques* qui, bien que présentant dans une couche donnée des tracés très compliqués et des indentations profondes, sont régulièrement emboîtées les unes dans les autres comme le montrent les figures publiées dans l'ouvrage cité ([254], Planches III et IV). L'emboîtement des courbes des différents teneurs en M. V. d'une même veine rappelle exactement celui des courbes de niveau d'une carte topographique.

D'autre part, M. GÉNY a pu montrer que toutes les couches étudiées permettent d'observer *un amaigrissement constant dans la direction de la bordure Nord du gisement*, amaigrissement dont l'amplitude n'est pas rigoureusement proportionnelle à la distance comptée dans la direction Sud-Nord, mais qui se fait de façon continue sans variations brusques et sans paraître être influencé par la présence des failles. Le Tableau XL indique les variations qui ont été observées par M. GÉNY dans un certain nombre de veines de la concession de Courrières.

Parmi les 183 analyses utilisées par M. GÉNY, 7 seulement ont donné des résultats aberrants paraissant faire exception à la règle commune de l'amaigrissement vers le Nord, les écarts observés étant presque toujours assez faibles.

Ces variations progressives et constantes qui se traduisent par un amaigrissement suivant une direction donnée ne sont pas particulières au Bassin du Nord et du Pas-de-Calais, car elles

ont été observées dans le Bassin houiller du pays de Galles par MM. STRAHAN et POLLARD [622] et plus récemment dans le Bassin de Liège par MM. FOURMARIER et LEGRAYE [240 bis et 398 bis].

TABLEAU XL

VARIATIONS DE COMPOSITION CHIMIQUE DANS UNE DIRECTION SENSIBLEMENT SUD-NORD  
DE DIFFÉRENTES VEINES DE LA CONCESSION DE COURRIÈRES

(d'après M. P. Gény)

NOMS DES VEINES DE HOUILLE	TENEURS EN MATIÈRES VOLATILES		AMPLEUR DES VARIATIONS	DISTANCE ENTRE LES POINTS DE PRISES EXTRÊMES
	Région Sud	Région Nord		
MATHILDE	34,3 %	27,2 %	7,1 %	3 km. 0
CÉCILE	36,0 %	26,3 %	9,7 %	4 km. 0
SAINTE-BARBE	34,4 %	25,4 %	9,0 %	4 km. 0
JOSÉPHINE	35,5 %	25,4 %	10,1 %	4 km. 0
MARIE	33,1 %	26,1 %	7,0 %	3 km. 5
AMÉ	31,0 %	28,0 %	3,0 %	2 km. 0
EUGÉNIE	32,0 %	28,0 %	4,0 %	2 km. 0

Dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais les renseignements statistiques qui ont servi à l'établissement de la carte du gisement <sup>(1)</sup> permettent de compléter les indications données par les recherches systématiques. L'on constate alors que les *houilles bitumineuses* (M. V. > 26%) occupent dans le gisement, par rapport aux autres types de charbon, une posi-

(1). Carte d'ensemble au 1/ 80000 et coupes verticales Nord-Sud du Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais (publiée par la Chambre des Houillères du Nord et du Pas-de-Calais).

tion axiale, leur axe se trouvant nettement déporté vers le bord sud du gisement comme le montre la carte schématique de la Planche B où ces charbons sont figurés en noir <sup>(1)</sup>.

Continue dans le Pas-de-Calais cette bande n'est bien développée que dans l'Est du bassin houiller du Nord dans les concessions d'Anzin et de Crespin. Elle s'observe néanmoins sous forme d'un lambeau allongé qui passe sous la ville de Douai et s'étend dans les concessions de l'Escarpelle et d'Aniche.

De part et d'autre de cette bande de charbons bitumineux, qui s'observe dans le Pas-de-Calais de chaque côté de la grande faille du Midi, *les teneurs en matières volatiles décroissent progressivement aussi bien vers le Nord que vers le Sud* pour former deux bandes partiellement symétriques d'importances très inégales et de compositions différentes.

La bande du Nord représente en surface la majeure partie du gisement et peut être subdivisée en deux bandes secondaires. L'une de ses bandes secondaires discontinue apparaît vers le centre de la concession de Bruay où elle bute contre la faille de Ruitz. Elle s'étend sans interruption jusqu'à la concession d'Anzin où elle disparaît contre le Cran de Retour en un point situé sensiblement à l'Ouest de Valenciennes. A partir de cette ville elle réapparaît et se continue au-delà de la frontière belge. Cette bande qui se trouve accolée à la bande des charbons bitumineux est formée de *houille à coke* (26% > M. V. > 18%). La deuxième bande secondaire qui occupe toute la bordure nord du Bassin s'étend en surface sur un peu plus de la moitié du gisement. Elle prend naissance vers l'Ouest dans la concession de Marles et s'observe d'une façon continue à l'Est de ce point. Dans cette bande secondaire toutes les veines de houille sont à l'état de *houilles anthraciteuses* (M. V. < 18%).

C'est dans la majeure partie de la bande médiane de houille bitumineuse et dans les deux bandes secondaires de houille à coke et de houille anthraciteuse que l'on observe l'*amaigrissement continu et progressif vers le Nord dont il a été question plus haut*.

Sur sa bordure méridionale l'on constate que la bande médiane des charbons bitumineux montre également un *amaigrissement progressif vers le Sud* et passe graduellement à une *bande de houille à coke* qui forme d'une façon à peu près continue toute la bordure sud du gisement. Cette bande existe notamment dans les concessions de Ferfay (Marles), de la Clarence, dans le Sud de la Concession de Bruay, dans les concessions de Gouy-Servins, de Liévin, d'Ablain, Vimy, Drocourt (Pas-de-Calais) ; interrompue dans la région ouest du Bassin du Nord on la voit réapparaître au Sud des concessions d'Aniche et d'Anzin et dans les concessions d'Azincourt, de Douchy et de Marly. Dans cette bande de l'extrême Sud les teneurs en M. V. ne descendent guère au dessous de 21%, de sorte que les houilles anthraciteuses font défaut sur le bord méridional du gisement actuel.

En résumé, l'étude des variations de composition chimique des houilles du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais, révélées par les différences des teneurs en matières volatiles, indique nettement que ces variations *obéissent à certaines lois* qui peuvent seules expliquer la structure partiellement symétrique du gisement, les caractères progressifs et les orientations des dites variations.

(1). La carte de la planche B représente la répartition dans le gisement des grands types lithologiques de houille. Étant donnée la concordance de ces types lithologiques avec les grands types chimiques (voir : tableau XXXIX) cette carte montre également la distribution de ces derniers dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais.

## II

## Rapport entre le type lithologique des houilles et leur position géographique dans le gisement

### PLANCHE B (TEXTE)

Les faits exposés dans le développement précédent mettent en évidence tout l'intérêt du problème de l'étude de la distribution des divers types pétrographiques de houille dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais ; étude qui permet de vérifier dans l'ensemble du gisement la concordance des types lithologiques et des types chimiques de combustibles et d'expliquer, comme nous le verrons dans le Livre deuxième de ce mémoire, la formation simultanée des divers types principaux et secondaires de charbons.

Cette étude a été rendue possible par le fait qu'en prévision de l'intérêt géologique des recherches entreprises, les origines des échantillons qui ont fait l'objet de tous les examens microscopiques ont toujours été soigneusement repérées de façon à ce que leur situation dans le gisement puisse toujours être retrouvée. Dans la plupart des cas les coordonnées numériques permettraient, le cas échéant, de déterminer la position exacte des points de prises.

Les examens microscopiques du charbon de nombreuses veines de houille, où des prélèvements ont pu être effectués en des points très diversement situés dans l'étendue du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais, conduisent à cette conclusion que dans l'ensemble des veines exploitées *la distribution des trois grands types pétrographiques que j'ai distingués sous les noms de charbons de cutine, charbons ligneux et charbons celluloseux est la même que celle des houilles bitumineuses, des houilles à coke et des houilles anthraciteuses* ; conclusion que laissait du reste entrevoir la coordination de ce qui a été dit dans le développement précédent et dans les Chapitres XVIII et XIX.

Cette répartition a été figurée sur la carte schématique faisant l'objet de la Planche B du texte et qui, par conséquent, montre aussi bien la distribution des trois grands types lithologiques que celle des trois grands types chimiques qui dans le Nord de la France se confondent presque exactement quand on les considère terme à terme comme je l'ai fait précédemment. Cette concordance s'étant trouvée vérifiée, sauf quelques rares exceptions sur lesquelles je reviendrai, les raccordements entre les points qui ont fait l'objet des examens microscopiques ont été réalisés en utilisant les teneurs en matières volatiles indiquées sur la carte citée plus haut.

#### 1<sup>o</sup> Gisement des houilles de Cutine.

Ces houilles, qui comprennent les deux types chimiquement équivalents des charbons de spores et des charbons de cuticules, se trouvent réparties dans une *bande médiane* qui coïncide avec celle des houilles bitumineuses. Ces houilles sont représentées en noir sur la carte de la planche B.

Cette bande médiane dont l'allure générale rappelle la configuration du Bassin du Nord

et du Pas-de-Calais est fortement déportée vers le bord Sud du gisement et s'étend dans une direction sensiblement Est-Ouest suivant laquelle on peut y distinguer trois régions bien distinctes.

*a.* — BANDE DE HOUILLE DE CUTINE DU BASSIN DU PAS-DE-CALAIS.

Cette bande, la plus importante de toutes, forme l'axe du Bassin du Pas-de-Calais et s'étend de l'extrémité Ouest du gisement actuel (Concession de Ligny) jusqu'à la Concession de l'Escarpelle où elle se termine en pointe, contre la faille Barrois, dans la région d'Auby. *Dans le Bassin primitif son extension vers l'Ouest était beaucoup plus considérable puisque j'ai pu reconnaître sa présence dans le Boulonnais où elle existe dans la Concession d'Hardinghen.*

Dans le sens de l'allongement du Bassin l'on peut y distinguer trois zones principales distinctes limitées par les grands accidents tectoniques.

Une première zone se trouve située au Sud-Ouest de la Faille de Ruitz et s'étend dans les concessions de Ligny, de Ferfay, de Marles, de Bruay, de Nœux et se termine dans la partie Nord de la Concession de Gouy-Servins. Elle présente son maximum de largeur dans les concessions de Marles et de Bruay et se termine en pointe à ses deux extrémités.

Une deuxième zone d'étendue très restreinte se trouve comprise entre la Faille de Ruitz et la Faille d'Hersin, elle est presque confinée sur le territoire de la Concession de Nœux dont elle occupe l'angle Sud-Est.

Une troisième zone, la plus large de toutes, s'étend à l'Est de la Faille d'Hersin, occupe une partie de la Concession de Nœux, s'élargit dans la région des Concessions de Béthune et de Lens et s'amincit dans celles de Courrières et de Dourges pour se terminer en pointe dans la Concession de l'Escarpelle contre la Faille Barrois.

Chacune de ces zones est traversée par la Grande Faille du Midi qui divise la bande tout entière en une région Nord et une région Sud.

*b.* — BANDE DE HOUILLE DE CUTINE DE LA RÉGION DE DOUAI.

Entre la Bande de houille de cutine du Pas-de-Calais et celle du Département du Nord il existe un hiatus important jalonné par le Cran de Retour. Cet hiatus est en partie comblé par la *bande secondaire*, d'étendue très réduite, que l'on observe dans la région de Douai, au Sud du Cran de Retour, entre cette faille et la Grande Faille du Midi.

*c.* — BANDE DE HOUILLE DE CUTINE DU BASSIN DU NORD.

Cette bande qui peut être subdivisée en deux zones a une étendue bien inférieure à celle de la bande du Pas-de-Calais.

Une première zone située au Sud du Cran de Retour est surtout bien développée dans la concession d'Anzin. Elle se termine en pointe vers l'Est dans la région Nord-Est de Valenciennes, sa terminaison Ouest, qui affecte également l'allure d'un angle aigu, a sensiblement pour axe les limites des concessions d'Aniche et d'Azincourt qu'elle suit sur une longueur de 1 km. environ à l'Ouest des limites communes avec la Concession d'Anzin.

La deuxième zone qui est surtout exploitée dans la Concession de Crespin s'observe, d'une part, au Nord du Cran de Retour et, d'autre part, au Sud de la grande Faille du Midi et s'étend,

par conséquent, sous le lambeau anté-houiller qui a été laissé en blanc sur la carte de la Planche B. Elle n'est que la terminaison Ouest de la bande de houille de cutine du gisement du Sud de la Belgique.

### 2<sup>o</sup> Gisement des Houilles ligneuses.

Ces houilles qui parmi les houilles ligno-cellulosiques sont caractérisées par la présence de nombreux débris de tissus ligneux à structure bien conservée noyés dans une pâte abondante se trouvent réparties dans le gisement suivant *deux bandes longitudinales situées respectivement au Nord et au Sud* de la bande des charbons de cutine. Dans chacune de ces deux bandes l'on peut distinguer dans le sens transversal deux régions correspondant au Bassin du Pas-de-Calais et à celui du Département du Nord. Ces houilles ligneuses sont figurées par des hachures en traits pleins sur la carte de la planche B.

#### a. — BANDES DE HOUILLES LIGNEUSES DU BASSIN DU PAS-DE-CALAIS.

*α. — Bande du Nord.* — Cette bande a une extension longitudinale moindre que celle des charbons de cutine. Son extrémité Ouest bute sur la Faille de Ruitz dans la région centrale de la concession de Bruay, elle occupe la zone médiane de la Concession de Nœux et toutes les régions des concessions de Béthune, Lens, Courrières et Dourges situées au Sud de la Faille Reumaux. Vers l'Est elle se termine en pointe dans la concession de l'Escarpelle dans le voisinage de la terminaison de la bande des houilles de cutine.

*β. — Bande du Sud.* — Cette bande, beaucoup moins importante que la précédente, du moins quant à son extension actuellement reconnue, occupe le bord Sud du Bassin du Pas-de-Calais. Elle existe dans les Concessions de Ferfay, de la Clarence, de Gouy-Servins, d'Ablain, de Vimy-Fresnoy et de Drocourt.

#### b. — BANDES DE HOUILLES LIGNEUSES DU BASSIN DU NORD.

*α. — Bande du Nord.* — Cette bande discontinue comprend deux zones. La première zone a sa terminaison Ouest dans la concession de l'Escarpelle, s'élargit dans la concession d'Aniche et se termine en pointe, contre le Cran de Retour, dans la concession d'Anzin. La deuxième zone dont l'extrémité se trouve légèrement au Nord de Valenciennes a son prolongement dans le Bassin houiller belge.

*β. — Bande du Sud.* — Cette bande également discontinue comprend deux zones. Une première zone s'observe dans les concessions d'Aniche et d'Azincourt au Sud du Cran de Retour et se confond probablement en partie avec la bande Nord correspondante. La deuxième zone située plus à l'Est s'étend dans les concessions d'Anzin et de Douchy, passe sous Valenciennes et disparaît près de la limite de la concession de Crespin.

### 3<sup>o</sup> Gisement des houilles cellulosiques.

Ces houilles ligno-cellulosiques sont caractérisées par la prédominance du ciment amorphe colloïdal et par la rareté des débris ligneux altérés. Elles n'existent que dans le Nord du gisement

où elles se trouvent réparties dans *une large bande continue*, dont l'extrémité Ouest déborde légèrement la limite des concessions de Bruay et de Marles, et se poursuit vers l'Est dans le Bassin houiller belge. Sur la carte schématique de la Planche B elles sont figurées par les hachures en traits interrompus.

Dans le Bassin du Pas-de-Calais elle se trouve presque entièrement située au Nord de la Faille Reumaux qui la limite et ce n'est qu'au-delà de la Faille d'Hersin qu'elle déborde au Sud de cet accident ou de son prolongement pour finir contre la Faille de Ruitz dont le rejet a amené en contact direct les houilles de cutine et les houilles cellulosiques.

Dans le Bassin du Nord elle est divisée en deux bandes longitudinales par la Faille Barrois et sa limite méridionale se trouve constituée dans la région de Valenciennes par le Cran de Retour dont le jeu a amené en contact la bande des houilles de cutine et celle des houilles cellulosiques. Dans le Nord comme dans le Pas-de-Calais le rejet des failles a donc provoqué la formation de contacts anormaux où grâce à la suppression de la bande Nord des houilles ligneuses les bandes de houilles de cutine et de houilles cellulosiques se trouvent directement juxtaposées.

#### 4<sup>o</sup> Gisement des Bogheads, des Cannel-Coals et des Pseudo-Cannel-Coals (Gayets).

Pour terminer cette étude sur la distribution des divers types pétrographiques de houille je signalerai rapidement la répartition des Gayets dans le gisement du Nord et du Pas-de-Calais. D'après des recherches en cours les roches à grain fin confondues dans le Bassin houiller sous l'appellation générique de *Gayet* peuvent être rapportées à trois types lithologiques distincts :

a. — Les *Bogheads* ou Charbons d'algues, si bien décrits dans d'autres gisements par BERTRAND et RENAULT et plus récemment par M. PAUL BERTRAND [88], sont relativement rares dans le Bassin houiller où leur présence a été signalée à différentes reprises par divers auteurs (Voir notamment les mémoires [15], [85], [181], [189], [190] cités dans la Bibliographie de ce volume).

b. — Les *Cannel-Coals* représentent le type de Gayet de beaucoup le plus fréquent et sont, comme les houilles de cutine, des charbons de spores.

c. — Les *Pseudo-Cannel-Coals*, beaucoup plus rares dans le gisement que les *Cannel-Coals* proprement dits, sont apparentés, au contraire, aux houilles ligno-cellulosiques. La structure microscopique de certains d'entre eux est quasi identique à celle des anthracites (houilles cellulosiques).

Au point de vue chimique les *Bogheads* et les *Cannel-Coals* forment avec les houilles de Cutine le groupe des *combustibles bitumineux*, riches en matières volatiles (M.V. > 26%), s'apparentant nettement aux bitumes naturels des schistes ou grès bitumineux et des hydrocarbures libres (pétroles).

Au contraire, à ce même point de vue, les *Pseudo-Cannel-Coals* forment avec les houilles ligno-cellulosiques le groupe des *combustibles charbonneux* <sup>(1)</sup> moins riches en matières volatiles (M. V. < 26%) et correspondant aux schistes ou grès charbonneux.

(1). Ce qualificatif *charbonneux* qui utilisé à côté du mot « combustible » semble introduire un pléonisme me paraît devoir s'imposer pour les raisons suivantes. Il est utilisé depuis très longtemps dans les termes « *schistes charbonneux* » et



Les *Bogheads* et les *Cannel-Coals* se rencontrent uniquement dans les couches de Gayet qui existent dans les roches stériles séparant les veines de houille de cutine et parfois interstratifiées dans ces mêmes veines. *Leur répartition géographique est donc la même que celle des houilles de cutine.*

Les *Pseudo-Cannel-Coals* ne se rencontrent, au contraire, que dans les bandes de houille ligno-cellulosique des deux types <sup>(1)</sup>.

Naturellement, les limites indiquées sur la carte de la Planche B n'ont qu'un caractère schématique, le passage des diverses bandes les unes aux autres n'étant pas brusque et se faisant graduellement par interstratification mutuelle. C'est ce que semblent bien indiquer certains faits d'observations qui paraissent à première vue constituer des exceptions à ce qui vient d'être dit. C'est ainsi qu'au Siège n° 7 de Marles (ancien 4 de Ferfay) la veine Poissonnière contient côte à côte des lits de houille ligneuse (Pl. L, Fig. 247 à 248) et de houille de cutine (Fig. 246), et que parmi les veines de houilles ligno-cellulosiques exploitées au Siège n° 2 bis de Bruay, au Nord de la Faille de Ruitz, l'on observe quelques lits de houille de cutine (Pl. X, Fig. 50).

En résumé, l'étude de la distribution des divers types pétrographiques de houilles et de roches combustibles, dans le gisement du Nord et du Pas-de-Calais, vient vérifier dans la quasi-totalité des cas la notion de la superposition des grands types chimiques de houille (h. bitumineuses, h. à coke, h. anthraciteuses) aux trois types lithologiques principaux (h. de cutine, h. ligneuses, h. cellulosiques).

Elle indique, en outre, que le Bassin de sédimentation primitif avait dans son ensemble en coupe transversale (sensiblement Nord-Sud) une allure symétrique, l'absence de houilles cellulosiques sur le bord Sud du gisement actuel résultant du jeu des failles génératrices des charriages et de l'érosion subséquente.

### III

#### Indépendance entre le type lithologique des houilles et leur position stratigraphique

La carte de la Planche B du texte, qui a été interprétée dans le développement précédent, rend compte de la distribution des trois grands types pétrographiques de houille d'après l'ensemble des veines exploitées dans le gisement.

Or, comme le montre la comparaison de cette carte schématique avec la carte paléontologique qui a été publiée par MM. BARROIS, BERTRAND et PRUVOST [30], les faisceaux de veines

« grès charbonneux », roches formant avec les houilles ligno-cellulosiques et les pseudo-Cannel-Coals le groupe des roches charbonneuses qui s'oppose au groupe des roches bitumineuses. Il est sensiblement l'équivalent du terme « carbonaceous » utilisé depuis vingt ans environ par M. C. A. SEYLER ([561] et [563]) dans sa classification chimique des charbons.

Les termes roches bitumineuses et roches charbonneuses correspondent respectivement aux termes roches sapropéliennes et roches humiques de H. POTONÉ.

(1). Il en est de même en Belgique d'après une étude de M. X. STAINIER [600] et d'après ce qui a été observé au Charbonnage de Bonnes-fins.

exploitées *ne sont pas de même âge* et appartiennent aux Assises de Vicoigne, d'Anzin et de Bruay, de sorte que cette comparaison pourrait faire croire que les différences observées entre les divers types lithologiques de houille sont en rapport avec l'âge des dites couches.

Il n'en est nullement ainsi, car comme le montrera l'étude de la *distribution verticale* des divers types lithologiques dans le gisement et des *variations horizontales des caractères pétrographiques des veines de houille*, ces types lithologiques se déposaient simultanément dans le bassin de sédimentation.

### 1° Distribution verticale des houilles de Cutine.

C'est surtout au point de vue de l'existence de ces charbons de cutine qu'il y avait lieu de vérifier leur distribution verticale, la grande bande qu'ils forment dans le Pas-de-Calais devant être rapportée presque uniquement à l'Assise de Bruay.

S'il n'est pas douteux que ces houilles se rencontrent surtout dans l'assise la plus récente du Westphalien du Nord de la France, des faits d'observation précis montrent qu'elles existent déjà dans les couches les plus anciennes du Bassin et dans toute la série intermédiaire.

On les trouve, en particulier, dans les veines de houille de la Concession d'Hardinghen (Boulonnais) à la Fosse la Glaneuse, c'est-à-dire à la *partie inférieure de l'Assise de Vicoigne* (Pl. VII et VIII, Fig. 36, 38, 39 et 42) qui a été reconnue dans ce prolongement du Bassin houiller du Nord de la France. En ce point elles existent sous les deux formes des charbons de spores (Fig. 36, 39 et 42) et des charbons de cuticules (Fig. 38).

À la Fosse 2<sup>bis</sup> de Bruay la Veine Célestine, qui fait partie de l'Assise de Vicoigne, est à l'état de charbon de spores (Pl. X, Fig. 50).

Dans la bande de charbons de cutine du Bassin houiller du Nord la Veine Renard est à la Fosse Rœulx des Mines d'Anzin constituée du toit au mur par des charbons de spores représentés par les figures 218, 245 et 259 (Pl. XLIII, L et LIII). Or, cette Veine correspond au niveau marin de Poissonnière *et marque la limite des Assises de Vicoigne et d'Anzin*.

Dans le Pas-de-Calais, la Veine Poissonnière est constituée au Siège N°7 de Marles (ancien 4 de Ferfay) par des alternances de charbon de cuticules (Fig. 246, Pl. L) et de charbon ligneux (Fig. 247 et 248).

Enfin, à la Fosse Dechy des Mines d'Aniche la Veine Sainte-Barbe bis, qui appartient à l'Assise d'Anzin, contient des lits de charbons de spores.

Dans l'Assise de Bruay, la plupart des veines exploitées dans les Concessions de Bruay, de Lens et de Liévin sont constituées entièrement par des charbons de cutine.

Quant à l'identité possible des houilles observées aux différents niveaux, elle se trouve mise en évidence par la comparaison des figures 35 et 36 (Pl. VII), 38 et 43, 39 et 44, 41 et 42 (Pl. VIII) qui permettent de comparer les charbons très anciens d'Hardinghen (Fig. 36, 38, 39, 42) à des charbons plus récents dont certains appartiennent à la partie supérieure de l'Assise de Bruay (charbon de la Veine Dusouich, Fig. 43).

Les faits précédents montrent donc *que les charbons de cutine existent dans toute la série stratigraphique du Nord de la France* où ils peuvent se rencontrer *sous des formes quasi-identiques dans des couches d'âges très différents* occupant, par exemple, les extrémités de cette série.

## 2<sup>o</sup> Distribution verticale des houilles ligneuses.

Les houilles ligno-cellulosiques caractérisées par la présence de nombreux tissus ligneux bien conservés s'exploitent également à des niveaux très différents de la série stratigraphique du Nord de la France. On les rencontre dans l'*Assise de Vicoigne* (Veine Chandeleur, à la Fosse Dechy des Mines d'Aniche et à la limite des *Assises de Vicoigne et d'Anzin* (Veine Poissonnière des concessions de Marles-Ferfay [Pl. L, Fig. 247, 248], de Bruay [Fig. 249] et d'Aniche [Fig. 250]). Elles sont surtout exploitées dans l'*Assise d'Anzin*, notamment dans la concession d'Aniche où les veines de la Fosse Dechy situées au-dessus de la Veine Bernard (= Poissonnière) sont, y compris cette veine, formées surtout par des houilles ligneuses.

Ces houilles ligneuses existent également dans l'*Assise de Bruay* où certaines veines de houille de cutine passent latéralement à ce type de houilles ligno-cellulosiques. C'est ainsi que dans la Concession de Lens, au Siège N<sup>o</sup> 2, la Veine Dusouch est formée du toit au mur par des houilles ligneuses. Dans cette même concession de Lens, la Veine Ernestine, qui appartient également à l'*Assise de Bruay* et donne son nom à tout un faisceau de Veines, est constituée presque partout par des houilles ligneuses <sup>(1)</sup>. Toujours dans l'*Assise de Bruay*, l'on rencontre ces houilles ligneuses dans les Veines Saint-Antoine de Courrières, Marcelline de Béthune, et Saint-Constant de Nœux.

## 3<sup>o</sup> Distribution verticale des houilles cellulosiques.

Ces houilles ligno-cellulosiques caractérisées par la rareté des débris ligneux, le plus souvent altérés, et la prédominance du ciment amorphe colloïdal s'observent comme les précédentes à des niveaux très différents de la série stratigraphique du Nord de la France.

On rencontre ces houilles cellulosiques dans l'*Assise de Vicoigne* au Siège Déjardin (Veine Maroc) et Bernard (Veines Maroc et N<sup>o</sup> 1 à 6) des mines d'Aniche où elles se trouvent réparties dans des couches des faisceaux de Modeste et d'Olympe (base de l'*Assise de Vicoigne*).

Ces mêmes houilles cellulosiques se rencontrent également à la limite des *Assises de Vicoigne et d'Anzin* dans la Veine Poissonnière d'Aniche (Pl. L, Fig. 251) et de Nœux (Fig. 252 et 253).

Ces houilles sont bien développées dans l'*Assise d'Anzin* où on les rencontre en de multiples points du Bassin, notamment dans les Veines Madagascar, Boers, Carmen, Veine A et Jacques de la Concession d'Aniche ; dans la Veine Saint-Louis de Vicoigne, dans les Veines Alphonse de Béthune, Saint-Jules et César de Bruay, 6<sup>me</sup> Veine de Courrières, Élixa de Lens et N<sup>o</sup> 7 de Nœux et dans de nombreuses veines de la Concession d'Ostricourt.

Ces houilles cellulosiques sont plus rares dans l'*Assise de Bruay* où elles sont exploitées cependant dans certaines concessions, notamment dans le champ des fosses N<sup>o</sup> 8 de Courrières et de Dourges.

En résumé, les trois types pétrographiques de houille se rencontrent indistinctement dans toute la série stratigraphique du terrain houiller du Nord de la France. D'après l'ensemble des Veines étudiées jusqu'ici les houilles de cutine paraissent être plus fréquentes dans l'*Assise de Bruay*, les houilles ligneuses dans l'*Assise d'Anzin* et les houilles cellulosiques dans l'*Assise*

(1). Au siège N<sup>o</sup> 1 cette Veine Ernestine est à l'état de houille mixte et passe aux charbons de cutine.

de Vicoigne. Il semble, néanmoins, que pour le moment il n'y a pas lieu d'attacher grande importance à ces fréquences relatives de chaque type qui tiennent vraisemblablement aux circonstances d'exploitation et qui peuvent être en rapport avec la structure générale du gisement telle qu'elle résulte des déformations d'ordre tectonique. Cette question perd du reste de son intérêt dès que se trouve résolue celle des variations lithologiques horizontales des Veines de houille *qui démontre la simultanéité des phénomènes de dépôt des trois types pétrographiques de combustibles.*

#### IV

### Variations horizontales des caractères lithologiques des veines de houille.

L'étude de la répartition des divers types lithologiques dans le gisement peut être abordée à un autre point de vue que celui de leur distribution verticale et faire l'objet de la recherche de *leur extension horizontale dans chaque Veine de houille.* Cette recherche présente, dans la plupart des cas, de grosses difficultés en rapport avec le mode de gisement des couches de houille et de la quasi-impossibilité où l'on se trouve fréquemment d'homologuer d'une façon rigoureuse les couches de houille exploitées dans diverses concessions voisines, parfois même dans l'étendue d'une seule concession. Pour les couches ordinaires à toits non marins l'homologation, en différents points de prises, ne peut être faite qu'assez rarement sur une surface suffisante pour qu'on puisse en tirer des conclusions générales, l'observation de deux types pétrographiques différents étant dans ce cas chose assez rare.

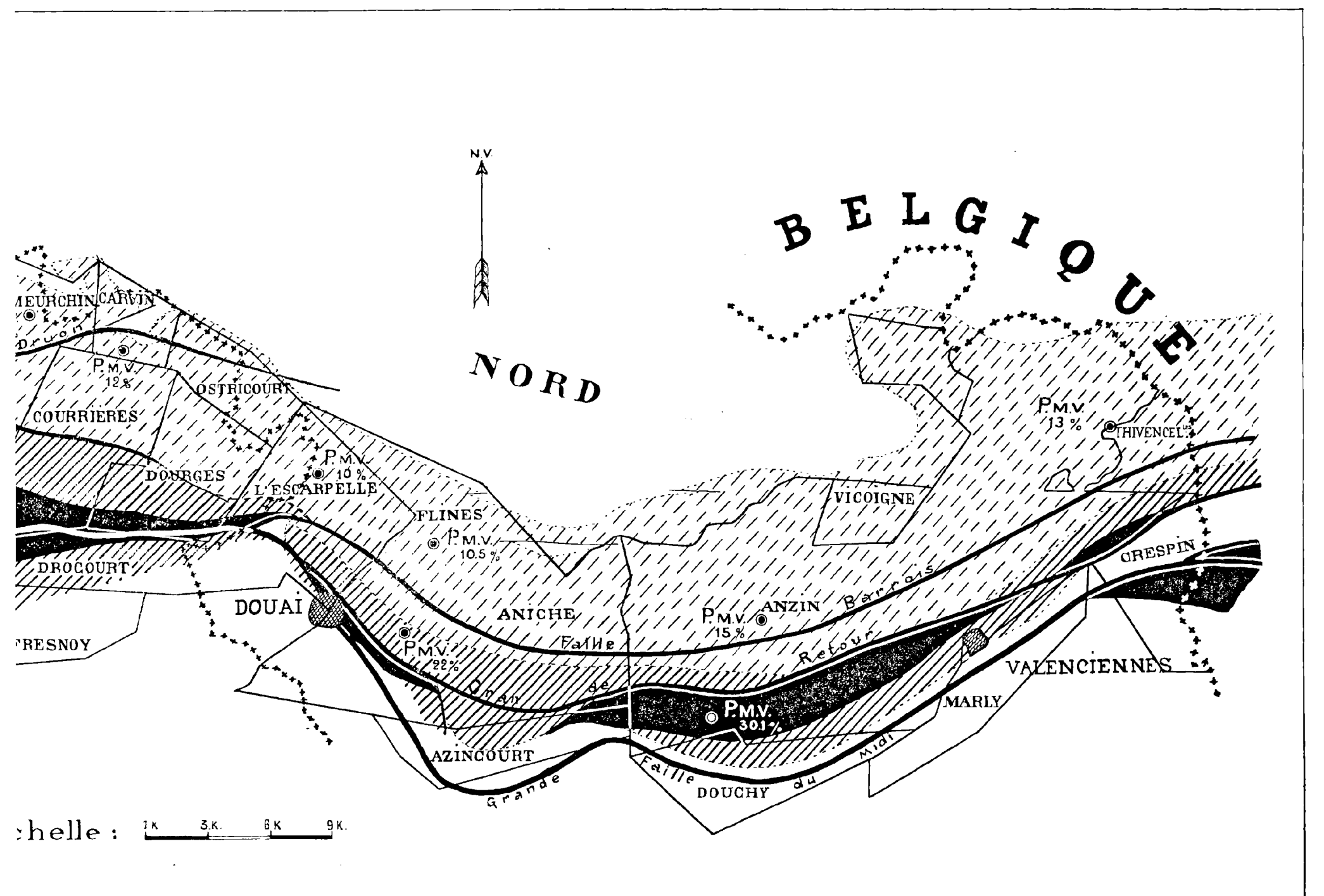
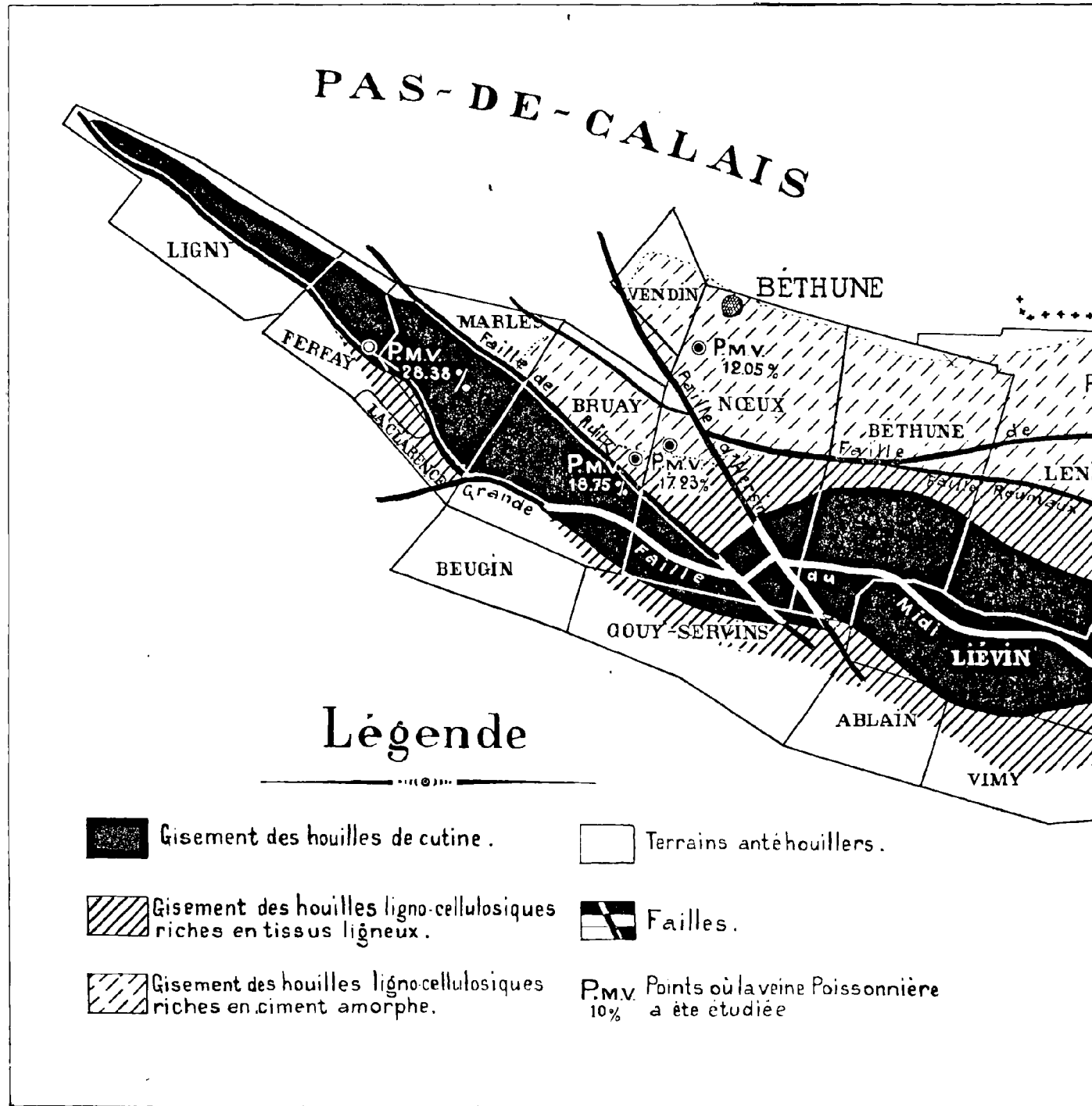
En réalité, l'étude des variations lithologiques horizontales d'une veine de houille ne peut être entreprise sérieusement qu'en utilisant les seuls niveaux stratigraphiques certains que constituent les strates marines qui ont été découvertes dans le gisement du Nord et du Pas-de-Calais par M. CHARLES BARROIS. Sur ce point les circonstances de l'exploitation viennent encore restreindre les possibilités d'observation, les couches que l'on désire étudier pouvant se trouver momentanément inaccessibles. Ces circonstances m'ont été, néanmoins, favorables et m'ont permis de recueillir un certain nombre d'échantillons de la *Veine Poissonnière*, échantillons qui mettent en évidence la coexistence, dans une même veine, des trois types lithologiques de houille dont la formation simultanée se trouve ainsi démontrée. D'autres circonstances favorables m'ont en outre permis d'observer localement des variations semblables dans certaines veines du gisement du Pas-de-Calais (Dusouich et Ernestine) et de compléter ainsi les indications fournies par la Veine Poissonnière.

#### A

### Étude des variations de la Veine Poissonnière.

#### PLANCHE L

Cette veine caractérisée par la présence d'un toit marin à faune bien définie marque dans le Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais la limite des Assises de Vicoigne et d'Anzin. Rencontrée pour la première fois à Aniche par M. CH. BARROIS elle a été reconnue depuis en



Les points entourés d'un cercle indiquent les lieux de prises exactes de la Veine Poissonnière. Les nombres placés sous les lettres P. Les houilles ligno-cellulosiques riches en tissus ligneux sont désignées souvent dans le texte de ce mémoire par l'abréviation houilles ligneux. Par suite de la concordance entre les grands types lithologiques et chimiques la carte ci-dessus représente également la distribution dans l'étendue du gisement des différents types chimiques de houille et les variations des teneurs en matières volatiles dans les deux directions du Nord et du Sud. Les houilles bitumeuses (M.V. > 26 %) sont figurées en noir, les houilles à coke (26 % > M.V. > 18 %) par les hachures pleines et les houilles anthraciteuses (M.V. < 18 %) par les hachures en traits interrompus. Sur cette carte tous les terrains post-houillers ont été supposés enlevés. Seuls les accidents tectoniques les plus importants ont été figurés.

Les teneurs en matières volatiles observées en chacun de ces points. Le terme «houilles ligno-cellulosiques riches en ciment amorphe» étant lui-même remplacé par celui de houilles celluloseuses. Les houilles bitumeuses (M.V. > 26 %) sont figurées en noir, les houilles à coke (26 % > M.V. > 18 %) par les hachures pleines et les houilles anthraciteuses (M.V. < 18 %) par les hachures en traits interrompus.



des points très différents du gisement où chaque nouvelle découverte a permis de vérifier, grâce à l'analyse chimique immédiate, ce qu'avait dit M. BARROIS sur l'amaigrissement progressif et continu des couches de houilles qui suivant les points envisagés sont à l'état de houilles grasses, de houilles demi-grasses et de houilles maigres.

### 1° Points où la Veine Poissonnière a été observée à l'état de houille de cutine.

Cette veine est à l'état de houille de cutine en deux des points qui ont pu être atteints, points qui se trouvent respectivement dans le Nord et le Pas-de-Calais.

#### a. — CONCESSION DES MINES D'ANZIN.

La *Veine Renard* exploitée à la *Fosse Rœulx* de la concession des mines d'Anzin correspond au niveau marin de Poissonnière, elle est constituée du toit au mur par un charbon de spores typique représenté à grossissement moyen ( $\times 55$ ) par la figure 245 (Pl. L) où l'on observe plusieurs exines de macrospores (Ms) régulièrement étalées parallèlement au plan de stratification dans une houille semi-brillante (Clarain) où de nombreuses microspores sont bien stratifiées dans une pâte abondante (P.) qui forme par place des filets de houille brillante (Vitrain).

La Fig. 218 (Pl. XLII) montre l'aspect du charbon de cette veine à faible grossissement ( $\times 16$ ). L'on peut y remarquer la superposition de lits de houille semi-brillante et de filets de houille brillante indiqués par la lettre P. Le lit qui existe à mi-hauteur de la macrophotographie est riche en microspores (ms) et contient d'assez nombreuses macrospores (Ms). Au dessous de ce lit l'on peut observer les cuticules d'une feuille entière (Cti, Cts) dont les tissus internes (I) ont subi une gélification complète. Ce charbon ne contient que trois petites masses lenticulaires de Fusain (F). La comparaison de cette figure avec la houille de la 22<sup>me</sup> Veine de Bruay, représentée par la figure voisine (Fig. 219), permet de constater la quasi-identité du charbon de la Veine Poissonnière marquant la limite des assises de Vicoigne et d'Anzin, et de celui d'une veine de houille appartenant à l'Assise de Bruay.

La Fig. 259 (Pl. LIII) montre un autre aspect du charbon de la Veine Renard où l'alignement des lits élémentaires se trouve dérangé par des failles microscopiques représentées schématiquement par la figure 65<sup>t</sup> (p. 241).

Les analyses immédiates des charbons de la Veine Renard d'Anzin ont donné les résultats suivants :

	<i>Sillon du toit</i>	<i>Sillon du mur</i>
Humidité . . . . .	1,73 %	2,03 %
Matières volatiles . . . . .	30,10 %	29,84 %
Carbone fixe . . . . .	65,83 %	62,04 %
Cendres . . . . .	4,07 %	8,12 %

Cette veine est donc à l'état de *houille bitumineuse* et son charbon se classe parmi les houilles grasses marécales de GRUNER (32 % > M. V. > 26 %). La concordance entre les houilles de cutine et les houilles bitumineuses se trouve donc vérifiée en ce qui la concerne.

## b. — CONCESSION DES MINES DE MARLES-FERFAY.

A la *Fosse N° 7* des Mines de Marles qui correspond à l'ancien Siège N° 4 de la Concession de Ferfay, la Veine Poissonnière est connue sous le nom de *Passée marine de Sainte-Marie*. Elle est surtout formée de houille ligneuse, mais renferme des lits de *charbon de cutine* représentés par une houille de cuticules dont les caractères sont extrêmement voisins de ceux que présente la Veine Dusouich (Ass. de Bruay) en certains points de la Concession de Liévin, comme l'on peut s'en rendre compte en comparant la Fig. 246 (Pl. L) à certaines figures publiées antérieurement ([193], Fig. 1 à 6, p. 6 à 9). Dans la houille de la *Passée marine de Sainte-Marie* (Poissonnière de Marles) (Fig. 246) l'on observe de rares cuticules (Ct) étalées parallèlement au plan de stratification et un ciment abondant (P) où se trouvent également bien stratifiées de nombreuses microspores (ms). Cette houille contient une fente horizontale (V) et une fracture verticale moins importante dues toutes deux aux phénomènes de retrait.

Ici encore la houille de cuticules de la Veine Poissonnière se révèle identique aux houilles semblables beaucoup plus récentes de l'Assise de Bruay.

L'analyse chimique de la houille en question a fourni les résultats ci-dessous :

Humidité . . . . .	3,80 %
Matières volatiles . . . . .	32,30 %
Carbone fixe . . . . .	62,90 %
Cendres . . . . .	4,80 %

Les lits de houille de cutine de la *Passée marine de Sainte-Marie* contiennent 32,30 % de *matières volatiles*, se rangent par conséquent parmi les houilles bitumineuses et se révèlent comme étant plus riches en gaz que les lits de houille ligneuse adjacents (voir plus loin, p. 403).

## 2° Points où la Veine Poissonnière a été observée à l'état de houille ligneuse.

Cette Veine a été rencontrée à l'état de houille ligno-cellulosique, à tissus ligneux nombreux et bien conservés (h. ligneuses), en trois points du gisement répartis également dans le Nord et dans le Pas-de-Calais.

## a. — CONCESSION DES MINES D'ANICHE.

A la *Fosse Dechy* de la Concession d'Aniche, la *Veine Bernard* correspond au niveau marin de Poissonnière. Elle est constituée par une houille ligno-cellulosique à tissus ligneux bien conservés représentée par la Fig. 250 (Pl. L). Sur cette figure l'on peut observer la superposition de plusieurs lames de Fusain (F, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>) dont certaines quoique de petites dimensions (F<sub>2</sub>) montrent de belles structures cellulaires. Entre les lames de Fusain le ciment amorphe colloïdal (P) forme des lits contenant des lames ligneuses plus petites, lits parcourus par des fentes de retrait (V).

Ce charbon a donné à l'analyse immédiate les résultats suivants :

Humidité . . . . .	1,17 %
Matières volatiles . . . . .	22,00 %
Carbone fixe . . . . .	75,97 %
Cendres . . . . .	2,03 %



Il se classe donc parmi les *houilles à coke*.

Ce charbon est quasi-identique au point de vue pétrographique à toutes les houilles ligneuses, en particulier à celles figurant sur les planches XXVII et XXVIII. Il est également très voisin d'un charbon de Gouy-Servins (Fig. 194 et 195, Pl. XXXVII) provenant de l'Assise de Bruay.

#### b. — CONCESSION DES MINES DE BRUAY.

La *Veine Poissonnière* est connue au *Siège 2 bis* de cette concession (Passée au toit de Célestine) où elle présente les caractères des *houilles ligneuses* que montre la figure 249 (Pl. L). Sur cette figure un lit de houille brillante (Vitrain) (Hb) repose sur un lit de houille semi-brillante (Clarain) contenant plusieurs masses de Fusain (F) et se trouve recouvert par un lit également riche en Fusain (F). La houille brillante (Hb) formée de ciment pur (P) s'amincit vers la gauche et contient de larges vides de retrait (V).

Cette houille présente la composition chimique suivante :

Humidité . . . . .	0,97 %
Matières volatiles . . . . .	18,75 %
Carbone fixe . . . . .	76,75 %
Cendres . . . . .	4,50 %

Elle se rapproche, par conséquent, des *houilles anthraciteuses* parmi lesquelles il y aurait lieu de la classer si l'on tenait compte de la teneur en soufre (voir tableau XLI) p. 407. Par ses caractères pétrographiques elle se place assez près des charbons cellulosiques notamment de ceux représentés par les figures 231 et 235 (Pl. XLVIII).

La houille de la Veine Poissonnière de Bruay représente, en réalité, *un terme de passage entre les houilles ligneuses et les houilles cellulosiques* et se trouve placée également, au point de vue chimique, à la limite des houilles à coke (18 % < M. V. < 26 %) et des houilles anthraciteuses (M. V. < 18 %).

#### c. — CONCESSION DES MINES DE MARLES-FERFAY.

Au *Siège N° 7 bis* de Marles (ancien 4 de Ferfay) la *Passée marine de Sainte-Marie* (= Poissonnière) est surtout constituée par des *houilles ligneuses* très riches en débris de tissus ligneux bien conservés représentées par les figures 247 et 248 (Pl. L) qui montrent de belles structures de bois et de sclérenchyme.

Les lits de houille ligno-cellulosique à tissus ligneux fréquents et bien conservés possèdent la composition chimique suivante :

Humidité . . . . .	5,91 %
Matières volatiles . . . . .	28,38 %
Carbone fixe . . . . .	61,92 %
Cendres . . . . .	9,70 %

Très riches en soufre (5,65 %) ils renferment moins de 22,73 % de matières volatiles si l'on déduit les gaz se rapportant à la teneur en soufre. Ils se classent alors nettement parmi les *houilles à coke*.

### 3° Points où la Veine Poissonnière a été observée à l'état de houille cellulosique.

Parmi les points étudiés le charbon de la *Veine Poissonnière* présente les caractères des houilles ligno-cellulosiques à ciment dominant et à tissus ligneux rares et altérés en trois points du gisement.

#### a. — CONCESSION DES MINES D'ANICHE.

A la *Fosse Déjardin* de la Concession des Mines d'Aniche, ce niveau marin est représenté par la *Veine Poissonnière* qui donne son nom à l'horizon repère, découvert en ce point par M. CH. BARROIS. Elle est à l'état de charbon cellulosique net que montre la figure 251 (Pl. L). Sur cette figure l'on peut observer la superposition d'un lit de houille brillante (Hb) et d'un lit de houille semi-brillante (Hs) contenant des débris de tissus ligneux fortement gélifiés.

L'analyse chimique de cette houille cellulosique a donné les résultats suivants :

Humidité. . . . .	1,20 %
Matières volatiles . . . . .	10,60 %
Carbone fixe . . . . .	83,70 %
Cendres . . . . .	5,70 %

Ce charbon est donc à l'état de *houille anthraciteuse*.

#### b. — CONCESSION DES MINES DE NŒUX. — FOSSE N° 7.

Au *Siège N° 7* des Mines de Nœux, la *Veine Poissonnière* (4<sup>me</sup> passée au mur de la *Veine Henri*) se présente sous la forme de *houille cellulosique* nette très riche en ciment et ne contenant que des débris de tissus ligneux peu fréquents et gélifiés comme le montrent les figures 252 et 253 de la Planche L.

La Fig. 252 représente un lit de houille semi-brillante (Clarain) riche en pâte amorphe où se trouvent bien stratifiés des débris de tissus ligneux transformés en houille mate fibreuse (Fusain, F) ou en houille brillante (Xylovitrain, X) par gélification. Sur cette figure l'on observe, en outre, un corps résineux (R).

La Fig. 253 montre la superposition d'un lit de houille brillante (Vitrain, Hb) et d'un lit de houille semi-brillante (Clarain, Hs) contenant des lames de Fusain (F, F<sub>1</sub>) dont l'une (F) indique la limite des deux lits élémentaires. Dans ces deux figures l'on observe des fentes de retrait verticales (V).

La composition chimique immédiate de ce charbon est la suivante :

Humidité. . . . .	1,40 %
Matières volatiles . . . . .	17,23 %
Carbone fixe . . . . .	78,68 %
Cendres. . . . .	4,09 %

Ce charbon se classe donc parmi les *houilles anthraciteuses* (M.V. < 18 %), mais est assez voisin des houilles à coke (18 % < M. V. < 26 %).

## c. — CONCESSION DES MINES DE Nœux. — FOSSE N° 11.

A la *Fosse N° 11* de la Concession de Nœux, en un point beaucoup plus proche de la bordure Nord du gisement, la *Veine Poissonnière* (Passée à 10 m. au mur de la *Veine N° 10*) se trouve également à l'état de *houille cellulosique* et présente les mêmes caractères pétrographiques qu'au siège N° 7. Sa composition chimique est la suivante :

Humidité . . . . .	2,03 %
Matières volatiles . . . . .	12,05 %
Carbone fixe . . . . .	82,67 %
Cendres . . . . .	5,28 %

C'est donc une *houille anthraciteuse nette*.

**4° Point où le sédiment marin de Poissonnière a été observé  
à l'état de Pseudo-Cannel-Coal.**

A la *Fosse N° 6 de Meurchin* de la C<sup>1</sup><sup>e</sup> des Mines de Lens, le niveau marin de Poissonnière est représenté par la *Passée au Mur de Nelly* <sup>(1)</sup>, passée dont la composition varie suivant les points envisagés. Elle peut être constituée entièrement par un gayet qui forme parfois un sillon médian entre deux lits de houille.

Ce gayet de teinte brun noirâtre a une cassure conchoïdale et *contient de nombreuses lingules* qui attestent son origine marine. Examiné au microscope, il se montre surtout formé par une substance amorphe, les débris végétaux très altérés y étant fort rares. Les sections des coquilles chitineuses des lingules y sont bien reconnaissables ainsi que de nombreux grains microscopiques de Pyrite simples ou en agrégats. J'ai pu y reconnaître, en outre, quelques sections de foraminifères <sup>(2)</sup>.

Ce combustible très particulier présente la composition chimique suivante :

Humidité . . . . .	2,38 %
Matières volatiles . . . . .	12,32 %
Carbone fixe . . . . .	67,50 %
Cendres . . . . .	17,80 %
Matières volatiles cendres déduites . . . . .	14,36 %

Par ses caractères lithologiques et chimiques ce gayet est donc un *Pseudo-Cannel-Coal* type. Son existence est intéressante à noter, car il nous a permis d'observer :

a) Le passage latéral d'une veine de houille ligno-cellulosique à un charbon spécial du même type ou *Pseudo-Cannel-Coal* qui est une variété de combustible assez rare dans notre gisement du Nord de la France.

(1) Les veines de Meurchin portent des noms différents de part et d'autre de la faille Saint-Druon. C'est pour cette raison qu'à la Fosse N° 4 la veine Poissonnière est représentée par une Passée de 0 m. 40 entre les veines Saint-Louis et Saint-Charles.

(2) La détermination de ces derniers organismes m'a été confirmée par M. LUCIEN CAYEUX d'après mes microphotographies.

b) Des roches combustibles (Pseudo-Cannel-Coals) *formées en milieu marin*, la présence des lingules dans le gayet indiquant clairement que cette passée provient de la diagénèse d'accumulations végétales qui se sont déposées sur un fond recouvert par les eaux de la mer <sup>(1)</sup>.

### 5° Teneurs en soufre de la Veine Poissonnière aux différents points de prises.

Les teneurs en matières volatiles dont il est question dans les analyses de la veine Poissonnière aux différents points cités précédemment sont les *teneurs en matières volatiles brutes* que l'on utilise ordinairement dans les classifications chimiques ou techniques des houilles telles que la classification de GRUNER.

Ces teneurs représentent non seulement les pourcentages de matières volatiles d'*origine organique*, mais encore les gaz qui *peuvent, éventuellement, provenir des substances minérales décomposables par la chaleur* (carbonates, sulfures) qui, comme nous l'avons vu précédemment, entrent parfois dans la composition des substances cendreuse des houilles.

Dans une couche de charbon telle que la Veine Poissonnière, la proportion de matières volatiles d'origine minérale peut être assez importante, l'abondance relative du soufre dans les roches du toit de cette veine s'étant montrée suffisante pour avoir fourni à M. CH. BARROIS et à ses collaborateurs [26] un moyen pratique de trouver cette veine au fond, de l'y suivre et d'y recueillir les fossiles marins qu'elle contient dans toute l'étendue du Bassin. Cette circonstance m'a amené à rechercher en chaque point la *teneur en soufre total* des combustibles dont il vient d'être question. Cette étude a donné les résultats suivants qui se trouvent résumés dans le tableau XLI.

La prise en considération des teneurs en soufre des différents échantillons ne modifie pas de façon sensible les conclusions émises dans les développements précédents et permet même de mettre en évidence la parfaite concordance des classifications lithologiques et techniques.

Dans les quatre premiers cas du tableau XLI, les teneurs en soufre total sont normales en ce sens qu'elles sont de même ordre ou dépassent à peine les teneurs en soufre des houilles ordinaires citées dans le tableau de la planche A. Ces teneurs en soufre ne sont donc pas capables de modifier sensiblement les teneurs en matières volatiles figurant dans les analyses immédiates et en admettant même qu'elles les modifient de façon appréciable, *ces modifications sont identiques à celles que l'on observe dans les autres houilles* et ne peuvent, par conséquent, être invoquées dans le cas spécial de la Veine Poissonnière.

Dans les charbons de la Veine Poissonnière des Sièges N° 7 et N° 11 de Nœux, les teneurs en soufre assez importantes (2,399 % et 4,257 %) indiquent la présence, dans les teneurs en matières volatiles brutes, d'un certain pourcentage de gaz d'origine minérale, mais dans ces cas cette présence n'entraîne qu'une diminution des teneurs indiquées et *l'accentuation du caractère anthracitique* des houilles en question, ce qui rend encore plus parfaite la concordance des caractères lithologiques et chimiques.

Dans la houille de la Fosse N° 2<sup>bis</sup> de Bruay, la teneur en soufre assez élevée donne lieu

(1) Ce gayet a été décrit antérieurement. Voir : [188], p. 221 et suivantes.

aux mêmes remarques que celles des charbons de Nœux. Ici la diminution du taux des matières volatiles d'origine organique *explique pourquoi ce combustible qui se range par son pourcentage en matières volatiles brutes parmi les houilles à coke présente*, comme je l'ai dit précédemment, *des caractères pétrographiques se rapprochant de ceux des houilles anthraciteuses*. Par ses teneurs en M. V. organiques ce charbon se classe parmi les houilles anthraciteuses.

TABLEAU XLI  
TENEURS EN SOUFRE DE LA VEINE POISSONNIÈRE  
EN DIFFÉRENTS POINTS DU BASSIN HOUILLER DU NORD DE LA FRANCE

COMPAGNIE	FOSSE	NOM DE LA VEINE	Mat. Vol. %	Soufre total %
ANICHE	DÉJARDIN	Poissonnière	10,50	1,337
	DECHY	Bernard	22,00	1,250
ANZIN	RÈULX	Renard (Sillon du toit)	30,10	1,714
		Renard (Sillon du mur)	29,84	1,459
BRUAY	N° 2 bis	Passée au toit de Célestine	18,75	2,500
MARLES	N° 7 (ancien N° 4 de Ferfay)	Passée marine de Sainte-Marie	28,38	5,653
NŒUX	N° 7	4 <sup>me</sup> Passée au mur de la Veine Henri	17,23	2,399
	N° 11	Passée à 10 m. au mur de la Veine N° 10	12,05	4,257

La houille de la Passée marine de Sainte-Marie de Marles-Ferfay possède une teneur en soufre extrêmement élevée (5,653 %) qui *explique pourquoi* cette houille ligneuse *présente une teneur en matières volatiles (28,38 %) dépassant sensiblement la limite maxima de ce type de combustible (26 %)*. Si l'on retranche de cette valeur anormalement élevée le pourcentage de gaz d'origine minérale, le pourcentage des matières volatiles devient celui d'une houille à coke.

En résumé, la détermination des teneurs en soufre total des houilles de la Veine Poissonnière laisse subsister tout entières et vient même renforcer les conclusions émises en ce qui concerne chaque point de prises.

### 6° Conclusions de l'étude de la Veine Poissonnière.

Si l'on reporte sur la carte de la Planche B les différents points où ont été prélevés les échantillons de la Veine Poissonnière ayant fait l'objet de l'étude précédente, *l'on constate que ces points se trouvent respectivement répartis dans les bandes des variétés de houilles correspondant aux caractères lithologiques et aux compositions chimiques de chacune d'elles.*

D'autre part, en cours d'exploitation, la couche de houille associée au niveau marin de Poissonnière a été rencontrée en certains points du gisement où sa composition chimique a pu être déterminée. Ces divers points sont les suivants :

1° *Cie des Mines d'Anzin, Fosse Haveluy, 4<sup>me</sup> Passée au mur de Charlotte (= Poissonnière), houille anthraciteuse (M. V. = 15 %).*

2° *Cie des Mines de Carvin, Fosses N° 3 et 4, Passée à 25 m. au mur de Grande Veine (= Poissonnière), houille anthraciteuse (M. V. = 12 %).*

3° *Cie des Mines de l'Escarpelle, Fosse N° 6, Veine N° 15 (= Poissonnière), houille anthraciteuse (M. V. = 10 %).*

4° *Cie des Mines de Lens, Concession de Meurchin, Fosse N° 4, Passée de 0 m. 40 entre Saint-Louis et Saint-Charles (= Poissonnière), houille anthraciteuse (M. V. = 12 %).*

5° *Cie des Mines de Thivencelles, Fosse Saint-Pierre, Veine Albraque (= Poissonnière), houille anthraciteuse (M. V. = 13 %).*

Étant donnée la concordance dans le Bassin du Nord des grands types chimiques de houilles et des trois types pétrographiques décrits précédemment, il est permis de conclure que dans les points où seule l'analyse chimique a pu être effectuée, cette concordance existe bien comme dans la quasi-totalité des autres points du gisement.

Si l'on reporte sur la carte de la planche B ces derniers points de prises, l'on constate que les dits points se trouvent situés dans les bandes de houille correspondant à leur composition chimique et à leurs caractères pétrographiques.

A l'examen de la carte de la Planche B où les divers points de prises de la Veine Poissonnière sont indiqués par des disques entourés d'un cercle, à côté de chacun desquels ont été rappelées les teneurs en matières volatiles, *l'on constate que dans tous les points observés la répartition des divers types lithologiques de charbon dans cette couche de houille coïncide avec la distribution géographique de ces mêmes types telle qu'elle ressort de l'étude de l'ensemble des couches de houille exploitées.*

En admettant certaines variations possibles dans les limites respectives des diverses bandes décrites, *la carte de la planche B représente donc dans son ensemble la distribution des différents types lithologiques de houilles dans une même veine de charbon.*

## B

**Étude des variations de la Veine Dusouich dans les Concessions de Béthune,  
de Courrières, de Lens et de Liévin.**

Certaines couches de houille peuvent être suivies sur les territoires de plusieurs concessions voisines suivant des espaces suffisamment vastes pour permettre d'observer des variations horizontales assez importantes marquées par l'existence de deux types lithologiques distincts.

Parmi ces veines assez rares la *Veine Dusouich*, qui est l'une de nos plus belles couches de houille du Pas-de-Calais, se rencontre notamment dans les concessions de Béthune, de Lens et de Liévin où j'ai pu l'étudier en un assez grand nombre de points, tantôt, à l'état de charbon de cutine et, tantôt, à l'état de charbon ligneux.

1° POINTS OÙ LA VEINE DUSOUICH A ÉTÉ OBSERVÉE A L'ÉTAT DE HOUILLE DE CUTINE.

Parmi les points observés, sauf un, la Veine Dusouich est à l'état de houille de cutine et présente le plus fréquemment les caractères des charbons de cuticules.

*a. — Concession de Béthune.*

La Veine Dusouich y est exploitée sous le nom de *Veine Charlotte* en particulier à la Fosse N° 11 où elle offre du toit au mur des variations des teneurs en matières volatiles oscillant entre 33,62 % et 37,95 % (Tableau XVII, p. 355).

Cette veine est à l'état de houille grasse à gaz et présente les caractères nets des charbons de cutine riches en cuticules (Fig. 87, Pl. XVII) ou en spores (Fig. 31, Pl. VII).

*b. — Concession de Courrières.*

La *Veine Sainte-Barbe* exploitée à Courrières, en particulier au Siège 13/18, correspond à la Veine Dusouich de Lens. Elle est en cet endroit à l'état de houille grasse maréchale et contient des teneurs en matières volatiles oscillant, de son mur à son toit, entre 29 % et 31 % (Tableau XX, p. 357). C'est une houille de cuticules typique (Fig. 93, Pl. XVIII).

*c. — Concession de Lens.*

Aux sièges N° 3, N° 4, N° 11 et N° 16 de Lens, la *Veine Dusouich* est à l'état de houilles bitumineuses se classant dans les houilles grasses à gaz (Sièges N° 3 et N° 16) ou les houilles grasses maréchales (Sièges N° 4 et 11) (Tableau XXI, p. 358). Partout elle est constituée par des charbons de cutine parmi lesquels domine le type des charbons de cuticules (Fig. 66, Pl. XII ; 74, Pl. XIV, 80, 81, Pl. XV ; 92 a, 92 b, 96, Pl. XVIII). Les lits de charbon de spores y existent fréquemment (Fig. 26, Pl. VI ; 45, 48, Pl. IX).

d. — *Concession de Liévin.*

Aux sièges n° 5 et n° 7 de Liévin, la *Veine Dusouich* est exploitée sous forme de houille grasse maréchale (Tableau XXIII, p. 359). Elle est constituée, soit par des charbons de cuticules (Fig. 64, Pl. XII ; 221, Pl. XLIV), soit par des charbons de spores (Fig. 43, Pl. VIII, 55, Pl. XI).

Tous les points de prises occupent les régions sud des concessions de Béthune, de Courrières et de Lens. Dans la concession de Lens les charbons étudiés sont d'autant plus riches en matières volatiles qu'ils se trouvent placés plus au Sud, caractère qui indique que dans l'ensemble il existe un amaigrissement vers le Nord. Dans la concession de Liévin située au Sud de la concession de Lens les teneurs en matières volatiles sont plus faibles que dans les sièges n° 3 et n° 16 de Lens, *de sorte que l'on observe l'amaigrissement vers le Sud* dont j'ai parlé précédemment.

Tous ces points sont situés dans la bande des charbons de cutine du Pas-de-Calais (Pl. B) telle qu'elle a été définie plus haut.

2° POINT OÙ LA VEINE DUSOUICH A ÉTÉ OBSERVÉE A L'ÉTAT DE HOUILLE LIGNEUSE.

Au siège n° 2 de Lens, la *Veine Dusouich* est à l'état de houille ligneuse nette. Elle présente la composition chimique d'une houille à coke riche en matières volatiles (Tableau XXX, p. 365).

Ce point de prise est situé sur un alignement passant au Nord des points de prises précédents et indique donc nettement dans la concession de Lens l'amaigrissement vers le Nord de la veine en question. Il se place dans la bande des houilles ligneuses telle qu'elle a été tracée sur la carte de la Planche B.

En résumé, l'étude des variations de la veine Dusouich, sur un espace relativement restreint du gisement du Pas-de-Calais, nous permet d'observer, d'une façon moins complète il est vrai que dans la veine Poissonnière, les variations pétrographiques du charbon d'une même couche de houille et de montrer que ces variations sont en rapport avec celles de la composition chimique de la dite couche.

Cette étude nous montre, en outre, qu'à partir d'une ligne médiane traversant la bande des charbons de cutine, figurée en noir sur la carte de la planche B, *les teneurs en matières volatiles d'une veine de houille décroissent progressivement aussi bien vers le bord nord du gisement que vers son bord sud.*

La veine Dusouich montre également l'amaigrissement de la couche de roche combustible vers le Sud, dans la bande des charbons bitumineux (= Ch. de Cutine) elle même, et met en évidence *la structure symétrique de cette bande.*

C

**Étude des variations de la Veine Ernestine dans la Concession de Lens.**

Dans la concession de Lens, la veine Ernestine présente presque partout où elle est exploitée les caractères des *houilles ligneuses* (h. ligno-cellulosiques à tissus ligneux fréquents et bien con-



servés). C'est sous cette forme qu'elle s'observe aux Sièges n° 14 et 15 où les teneurs en matières volatiles moyennes sont voisines de 25% (Tableau XXIX, p. 364). En tous ces points l'on constate la parfaite concordance des types chimique et pétrographique (h. à coke = h. ligneuse).

Par contre, au siège n° 1 qui est situé au Sud des sièges 14 et 15 *la veine Ernestine est à l'état de houille de cutine* et se présente sous forme d'un charbon de cuticules assez riche en débris ligneux formant terme de passage entre les houilles de cutine et les houilles ligneuses (type pétrographique mixte). En ce point les teneurs en matières volatiles sont voisines de 30% (Tableau XXII, p. 359) et classent nettement ces houilles parmi les houilles bitumineuses. Le point de prise est situé dans la bande des charbons de cutine figurée sur la carte schématique de la planche B.

Cette Veine Ernestine nous permet donc d'observer, en outre de l'amaigrissement vers le Nord de cette couche de houille, *le passage progressif vers le Sud de cette veine de charbon ligneux à un charbon de cutine* par un phénomène exactement inverse de celui que nous a montré la Veine Dusouch où une couche de houille de cutine passe progressivement vers le Nord à un charbon ligneux.

En résumé, les études des variations horizontales des caractères pétrographiques des veines de houille du Nord de la France montrent que dans les couches étudiées *l'on observe le passage graduel dans les deux directions Nord et Sud des houilles de cutine aux houilles ligneuses* et que vers le Nord *les houilles ligno-cellulosiques du type ligneux passent elles-mêmes aux houilles ligno-cellulosiques du type cellulosique*.

Dans ces veines de charbon, *la distribution dans l'espace des types lithologiques de houille est quasi identique à la répartition dans le gisement de ces mêmes types lithologiques* telle qu'elle est mise en évidence par l'étude de diverses veines d'âges différents exploitées dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais.

En admettant quelques différences possibles dans le tracé des limites respectives des divers types pétrographiques de charbon, *la carte schématique de la planche B peut être considérée comme représentant la distribution des houilles de cutine, des houilles ligneuses et des houilles cellulosiques dans toute l'étendue de chacune des veines du gisement du Nord de la France*.

## Conclusions du Chapitre Vingtième.

De l'ensemble des études de la distribution des divers types lithologiques de houille dans le Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais, l'on peut tirer les conclusions suivantes :

1° La distribution des divers types pétrographiques de charbon *dans chaque couche de houille envisagée isolément* en des lieux différents est sensiblement la même que celle de ces mêmes types dans l'ensemble du gisement, *de sorte que sur une même verticale les différents termes d'un même faisceau de veines sont constitués normalement par le même type lithologique*, fait qui a pu maintes fois être vérifié en plusieurs points du Bassin.

2° *Les houilles de cutine occupent dans le gisement une position axiale* et forment une bande <sup>(1)</sup>

(1) Ici, comme dans tout ce qui précède et dans les conclusions suivantes le mot « bande » n'implique pas que les cou-

interrompue vers la limite des Bassins du Nord et du Pas-de-Calais, bande qui se trouve assez fortement déportée vers le bord sud du synclinal houiller.

3° Les *houilles ligneuses* ou houilles ligno-cellulosiques à tissus ligneux fréquents et bien conservés s'observent dans deux bandes situées respectivement au Nord et au Sud des houilles de cutine, la bande du Nord étant beaucoup plus large que celle actuellement reconnue dans la partie méridionale du gisement.

4° Les *houilles cellulosiques* ou houilles ligno-cellulosiques à ciment dominant ne s'observent que sur la bordure Nord du Bassin où elles forment une bande continue qui occupe, en surface, près de la moitié du gisement.

5° La *structure symétrique du bassin de sédimentation primitif* mise en évidence par la répartition des divers types pétrographiques de houille se trouve encore indiquée par les variations des teneurs en matières volatiles observées dans les bandes de houilles de cutine et de houilles ligneuses.

Dans la bande des houilles de cutine les amaigrissements vers le Nord et vers le Sud, à partir d'une ligne médiane, soulignent la structure symétrique de cette bande. Les amaigrissements progressifs vers le Nord dans la bande occidentale de houille ligneuse et vers le Sud dans la bande méridionale de ces mêmes houilles montrent nettement qu'il existe de part et d'autre de la ligne médiane passant dans la bande des charbons de cutine une certaine symétrie qui s'observe dans l'ensemble du gisement.

Quant à l'absence de houille cellulosique sur le bord sud du synclinal houiller, il semble bien qu'elle ne doit pas être interprétée comme une preuve de leur inexistence dans la région sud du bassin de sédimentation primitif, car cette absence peut fort bien résulter des jeux successifs des charriages, des failles, des plissements et de l'érosion subséquente.

En résumé, l'étude de la distribution des différents types pétrographiques de houille dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais vient vérifier ce qui a été dit antérieurement sur l'amaigrissement progressif vers le Nord de la plupart des couches exploitées dans le gisement. *En montrant, de plus, que l'amaigrissement progressif qui est le corollaire des variations pétrographiques s'observe également dans la direction du Sud à partir d'une ligne médiane, divisant la bande des charbons de cutine (= houilles bitumineuses) en deux zones longitudinales, elle met en évidence la symétrie du bassin de sédimentation primitif et permet ainsi de préciser la structure initiale du gisement.*

En dernière analyse, les faits d'observation exposés dans le livre premier de ce mémoire m'ont permis de mettre en évidence les caractères pétrographiques des houilles paléozoïques du Nord de la France, d'établir une classification lithologique de ces roches combustibles et de préciser leurs conditions de gisement. Ces faits d'observation me permettront, en outre, d'aborder, dans des conditions nouvelles, l'étude de la formation des charbons et des sédiments stériles qui leur sont associés, étude qui fera l'objet du livre deuxième.

ches de houille sont des formations continues. C'est un fait bien connu qu'elles sont, au contraire, discontinues et représentent comme tous les sédiments houillers des couches lenticulaires.

## **LIVRE DEUXIÈME**

---

# **INTERPRÉTATION DES FAITS OBSERVÉS**

---

## LIVRE DEUXIÈME

### INTERPRÉTATION DES FAITS OBSERVÉS

#### INTRODUCTION

#### **Classification des sédiments houillers du Nord de la France**

Dans le livre premier de ce mémoire, je me suis efforcé d'exposer l'ensemble des faits d'observation que j'ai pu mettre en évidence au cours de mes recherches microscopiques sur les houilles du Nord de la France.

Dans le livre second, je me propose au contraire *d'interpréter* ces faits d'observation et de *coordonner* les résultats que j'ai obtenus avec ceux qui ont été mis en évidence par d'autres chercheurs dans des domaines différents, mais cependant connexes de celui de mes propres investigations.

De cette façon, il me sera possible d'exposer une théorie de la formation de la houille tenant compte à la fois de ce que nous savons du mode de gisement de cette roche combustible, de sa structure intime et des autres roches qui lui sont associées.

Dans tout ce qui va suivre, j'emploierai une classification des roches houillères stériles et combustibles *basée sur leurs caractères paléontologiques*, classification qui s'impose lorsque l'on compare la nature des débris végétaux fossiles que l'on rencontre dans les schistes, les grès et les conglomérats qui ont été souvent décrits dans notre bassin houiller par MM. BARROIS, BERTRAND et PRUVOST <sup>(1)</sup> et celle des débris végétaux qui caractérisent les diverses variétés de houilles qui ont été définies dans le livre premier de ce mémoire.

La classification que j'utiliserai comprend deux grandes divisions auxquelles correspondent :

1<sup>o</sup> — Les ROCHES BITUMINEUSES caractérisées par la présence de *débris végétaux cutinisés* (exines de spores, cuticules) ou par des *algues gélosiques*, roches parmi lesquelles on peut distinguer les termes figurant dans le tableau XLII

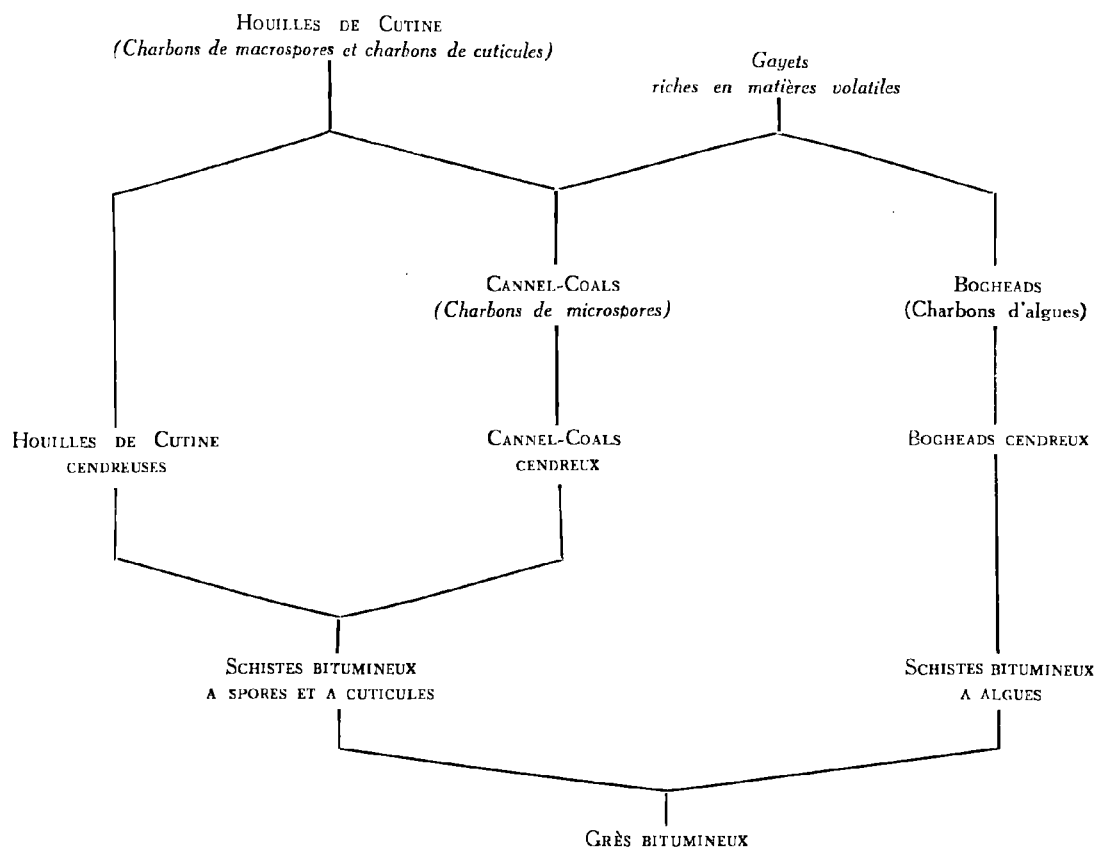
(1) Consulter notamment les mémoires 10, 14, 15, 16, 18, 22 et 496 de la liste bibliographique.

Toutes ces roches présentent un caractère commun, *les substances organiques qu'elles renferment provenant surtout de l'altération ou de la transformation de matières grasses d'origine végétale* (1).

Par l'origine de leurs substances organiques ces roches bitumineuses s'apparentent donc aux *hydrocarbures libres* ou « *Pétroles* » qui proviennent de la transformation de *matières grasses d'origine animale*.

TABLEAU XLII

CLASSIFICATION DES ROCHES BITUMINEUSES HOUILLÈRES DU NORD DE LA FRANCE



2<sup>o</sup> — Les **ROCHES CHARBONNEUSES** caractérisées par la présence de *débris de tissus ligneux* (bois, sclérenchyme), roches comprenant les différents termes énumérés dans le tableau XLIII.

Les substances organiques de toutes ces roches charbonneuses proviennent presque

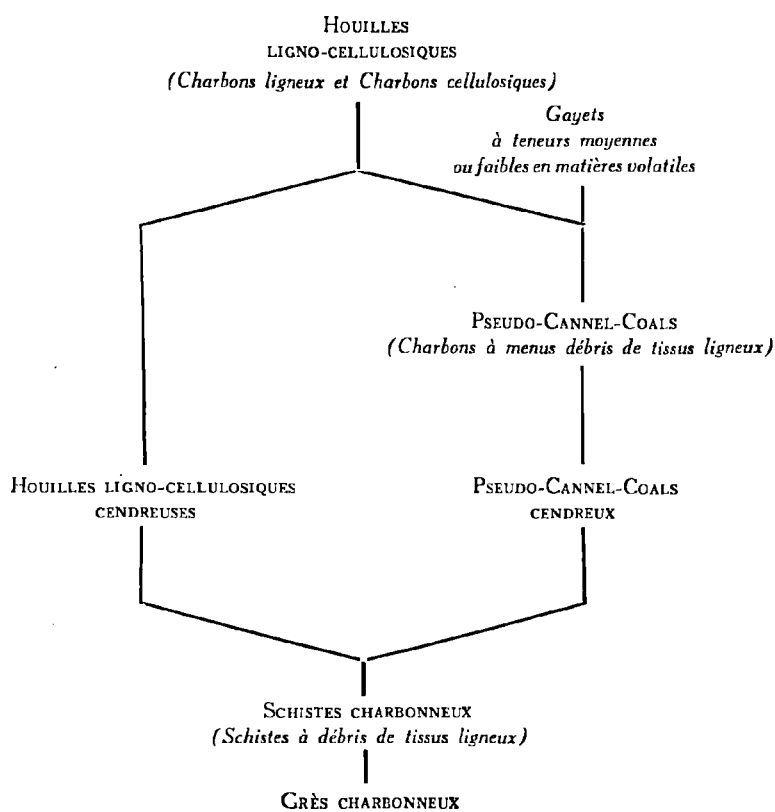
(1) La *cutine* des spores et des cuticules est un mélange d'acides gras ou de leurs composés, les *acides stéaro-cutique* et *oléocutique* voisins des acides gras à poids moléculaires élevés (Voir à ce sujet : J. G. BELTZER et JULES PERSOZ. — Les Matières cellulosiques, p. 313, Lib. Béranger, Paris 1911) et de substances cireuses.

Les *algues* des Bogheads étaient d'après M. P. BERTRAND [88] des algues gélosiques riches en substances huileuses.

exclusivement de l'altération ou de la fossilisation des tissus ligneux ou des produits de la désintégration des tissus celluloseux des plantes houillères, ces dernières s'y retrouvant sous la forme des substances amorphes (ciment, pâte ou substance fondamentale) formant le liant des corps figurés végétaux ou minéraux des lits hétérogènes et constituant à elles seules les lits de houille brillante (Vitrain) <sup>(1)</sup>.

TABLEAU XLIII

CLASSIFICATION DES ROCHES CHARBONNEUSES HOUILLÈRES DU NORD DE LA FRANCE



Dans les Chapitres qui suivront, après avoir passé en revue les hypothèses sur la formation de la houille, j'étudierai successivement les modes de formation des roches houillères stériles et combustibles, les causes de la différenciation des divers types de houilles et les causes générales de la genèse des veines de charbon.

(1) Dans le développement, précédent je n'ai pas cru devoir rappeler les définitions des schistes et des grès charbonneux ou bitumineux qui sont bien connus. Les appellations appliquées aux divers types de houilles et de charbons spéciaux ont été définies dans le livre premier de ce mémoire (Chapitre XIX<sup>e</sup>, II et Chapitre XX<sup>e</sup>). Dans les tableaux XLII et XLIII je n'ai pas fait figurer les *conglomérats* qui sont des roches assez rares dans notre gisement. Par la nature des débris, végétaux qu'ils renferment (tiges et branches entières) ces conglomérats s'apparentent surtout aux *grès charbonneux*.

PREMIÈRE PARTIE

LES HYPOTHÈSES SUR LA FORMATION DE LA HOUILLE  
DEVANT LES FAITS RÉVÉLÉS PAR SA STRUCTURE

La question de la formation des sédiments houillers pose deux problèmes connexes, mais différents, dont les solutions sont loin de présenter les mêmes difficultés.

Le premier de ces problèmes est celui de la *formation des roches stériles* (schistes, grès, poudingues, conglomérats) dont les modes de dépôt sont bien connus, tout au moins dans leurs grandes lignes et dans leur mécanisme ; la solution de ce problème nous étant donnée par la simple application de connaissances acquises par l'observation directe des phénomènes actuels de sédimentation.

La recherche de la solution du deuxième problème, *le mode de formation des couches de houille*, se présentait, il y a peu de temps encore, sous une forme difficile à résoudre pour les deux raisons suivantes.

1<sup>o</sup> — Alors que nous voyons se former sous nos yeux les roches meubles (galets, cailloutis, sables, boues argileuses) qui donnent naissance par durcissement ou agglutination à des roches consolidées identiques à celles des stériles du Bassin houiller, les seules roches combustibles actuelles (tourbes) sont trop différentes des houilles pour pouvoir leur être comparées.

2<sup>o</sup> — Cette comparaison pouvait d'autant moins être faite que jusqu'à une date relativement récente les caractères lithologiques des houilles étaient encore mal connus.

Dans ces conditions, toutes les théories émises jusqu'ici pour expliquer la formation de la houille reposent sur des faits qui ont été observés non pas dans la houille elle-même, mais dans les sédiments stériles voisins des couches combustibles ou dans certaines parties intégrantes de veines (Coal-Balls) présentant des caractères assez particuliers. Certaines d'entre elles résultent même de l'extension aux veines de houilles des caractères des couches de lignite ou des accumulations de tourbe, roches dont les affinités avec les charbons paléozoïques n'étaient pas encore établies.

En l'absence de la donnée essentielle du problème à résoudre, qui est évidemment *la connaissance de la structure microscopique des houilles*, l'on comprend facilement que des théories opposées aient pu être émises et acceptées simultanément par des géologues éminents.

Dans un premier chapitre (Chap. XXI<sup>e</sup>), je rappellerai brièvement les principales théories de la formation de la houille et les critiques qu'elles ont soulevées.

Les connaissances actuellement acquises en ce qui concerne la structure microscopique des houilles forment un ensemble de faits d'observation nouveaux qui me permettront d'aborder ensuite dans le chapitre XXII<sup>e</sup> le problème de la formation des charbons paléozoïques avec des données plus précises que toutes celles qui avaient été utilisées jusqu'ici.

## CHAPITRE VINGT-ET-UNIÈME

## Aperçu des théories relatives à la formation des couches de houille

## SOMMAIRE

- I. — THÉORIES DE L'ALLOCHTONIE. — A. Théorie des deltas de H. FAYOL. — B. Théorie allochtone de GRAND'EURY.  
 II. — THÉORIES DE L'AUTOCHTONIE. — Théorie de H. POTONÉ.  
 III. — THÉORIES MIXTES. — Théorie mixte de GRAND'EURY.  
 IV. — SIGNIFICATION DES TERMES « ALLOCHTONIE » ET « AUTOCHTONIE ».

Les termes « *allochtonie* » et « *autochtonie* » ont été proposés pour la première fois en 1883 par VON GÜMBEL [296] pour désigner respectivement la formation par transport et la formation sur place des couches de houille et de roches combustibles. Bien qu'employés par divers auteurs dans des sens légèrement différents les uns des autres, ils sont passés aujourd'hui dans le langage courant de tous ceux qui s'occupent du mode de formation des charbons minéraux et servent même de mot de ralliement aux partisans des deux hypothèses en apparence inconciliables.

## I

### Théories de l'Allochtonie

L'opinion que les houilles se sont formées par transport de débris végétaux a été très anciennement émise. C'est à une théorie de ce type que s'était rallié CONSTANT PRÉVOST qui admettait que la houille s'est formée grâce à l'*accumulation de bois flottés* charriés par les fleuves et transportés plus ou moins loin dans la mer par des courants <sup>(1)</sup>.

Cette théorie de la formation par transport, que CONSTANT PRÉVOST opposait alors à la théorie de la formation sur place soutenue par ALEXANDRE et ADOLPHE BRONGNIART, a été reprise en 1887 par HENRY FAYOL [225 et 226] qui lui a donné pour base des observations nombreuses et précises et des expériences sur la sédimentation. Elle a été décrite par lui sous le nom de la « *Théorie des deltas* ».

#### A. — Théorie des deltas de H. Fayol

Les petits bassins limniques du centre de la France, de formation plus récente (stéphanie), présentent au point de vue d'une étendue d'ensemble des conditions beaucoup plus favorables que celles du bassin paraliqwestphalien du Nord de la France. Leur étendue moins considérable, la simplicité relative de leur structure et la présence d'exploitations à ciel ouvert

(1) Au sujet des idées de CONSTANT PRÉVOST sur la formation de la houille voir : JULES GOSSELET [263]



rendent leur étude plus aisée. On y rencontre toute la série des sédiments détritiques, depuis les poudingues et les grès à grands éléments jusqu'aux schistes les plus fins, et l'origine des éléments détritiques de grande taille peut, le plus souvent, être déterminée avec une quasi certitude grâce à la présence dans la région d'affleurement de roches semblables.

C'est en mettant à profit ces circonstances particulières du gisement que l'éminent Directeur des Houillères de Commentry a pu entreprendre, et mener à bonne fin, une étude détaillée de la stratigraphie de sa concession ; étude qui l'a amené à concevoir la théorie de la formation de la houille par transport qui, aujourd'hui, est universellement connue sous le nom de « *théorie des deltas* ».

La théorie de FAYOL sur la formation des sédiments houillers de Commentry est la suivante :

Le bassin de dépôt, où se sont accumulées les couches, était primitivement un lac entouré de montagnes escarpées d'où descendaient des cours d'eau torrentiels amenant dans ce lac des galets, du sable, du limon et des débris végétaux. En arrivant dans ce lac, les eaux de ces torrents, dont la vitesse était rapidement amortie, déposaient successivement, en couches plus ou moins inclinées et de plus en plus éloignées du point d'arrivée, des galets, du sable grossier, du sable fin, des particules argileuses puis des débris végétaux. De cette façon, prenaient simultanément naissance des couches de poudingue ou de conglomérat, de grès grossier, de grès fins (psammites), de schiste et des veines de houille disposées de la même façon que les différents lits inclinés que l'on observe dans les deltas lacustres actuels.

FAYOL admettait donc le transport de débris végétaux par des cours d'eau, à allure rapide, qui charriaient en même temps des fragments de roche de différentes dimensions. Pour répondre à ses adversaires, qui lui objectèrent que dans de telles conditions les débris végétaux devaient disparaître très rapidement, il entreprit des expériences sur le transport de tels débris et montra, en particulier, que certaines parties très délicates des végétaux (pétales de rose) pouvaient subir un transport de plusieurs kilomètres dans des eaux assez rapides sans subir une altération appréciable.

En résumé, la théorie de la formation de la houille par transport de FAYOL admet :

*a* — Le transport des débris végétaux mélangés à des débris détritiques minéraux par des cours d'eau torrentiels, leur dépôt et leur classement dans des lacs où la vitesse de ces eaux était rapidement amortie.

*b* — Le dépôt des débris végétaux au delà de la zone où se déposaient les particules d'argile les plus fines qui ont donné naissance aux schistes.

*c* — L'existence de forêts occupant des régions relativement élevées <sup>(1)</sup>.

La théorie de FAYOL, accueillie d'abord avec une certaine prudence, fut brillamment soutenue par A. DE LAPPARENT <sup>(2)</sup> qui contribua largement à sa diffusion et à sa généralisa-

(1) FAYOL ne parle nulle part de la position exacte qu'il attribue à la forêt houillère, mais cette conclusion dérive logiquement de l'ensemble de son mémoire où il admet « *le transport par des cours d'eau* », ce qui implique une origine des débris végétaux assez éloignée des bords du lac qui, selon lui, était entouré de *montagnes escarpées*.

(2) Voir en particulier : « *Traité de Géologie*, 2<sup>e</sup> Édition, 1885 et éditions suivantes », et [380].

tion dans le monde scientifique. Antérieurement à la publication de la théorie autochtone de POTONIÉ, cette théorie des deltas était très en faveur et comptait de nombreux partisans.

### B. — Théorie allochtone de Grand'Eury.

Quelques années avant que parut le travail de FAYOL sur le Bassin houiller de Commentry, C. GRAND'EURY avait publié son Mémoire sur la formation de la houille [278], où il se ralliait à une théorie allochtone très différente de la théorie des deltas.

S'appuyant sur des arguments paléontologiques, et surtout sur des études de paléobotaniques, GRAND'EURY mit en évidence que la forêt houillère était marécageuse et que les végétaux qui la formaient présentaient tous les caractères des plantes adaptées à l'habitat palustre. Il en conclut que la forêt houillère occupait des terres basses en bordure du lac et que le *transport des substances végétales, dont l'accumulation a donné naissance aux couches de houille, s'effectuait uniquement dans les limites de ce lac.*

Mais alors que son mémoire contenait un grand nombre de faits d'observation d'un intérêt scientifique considérable, GRAND'EURY se borna à peu près à énoncer sa théorie, dont la justesse lui paraissait évidente, sans donner l'enchaînement des faits et des idées qui l'avait conduit à l'admettre. De même, s'il a parlé fréquemment des phénomènes de transport des substances végétales, il n'a guère insisté sur la nature de ces phénomènes de transport, ni sur la façon dont ils ont joué pour aboutir à la formation des roches combustibles et des roches stériles.

Cependant, GRAND'EURY avait mis en évidence le caractère paludéen de la végétation houillère qui est, certainement, l'argument le plus puissant que l'on puisse invoquer pour réfuter la théorie des deltas de FAYOL.

Cette théorie initiale <sup>(1)</sup> de GRAND'EURY est celle qui se rapproche le plus de l'hypothèse à laquelle me conduit l'étude des sédiments du bassin houiller du Nord.

Des théories allochtones assez différentes de celles de CONSTANT PRÉVOST, de FAYOL et de GRAND'EURY avaient été soutenues, antérieurement, par VOIGT [663], VON STERNBERG [603] et d'ORBIGNY <sup>(2)</sup>.

Abandonnée presque unanimement à la suite de la publication des travaux de H. POTONIÉ, même par ceux tels que GRAND'EURY et G. SCHMITZ <sup>(3)</sup> qui l'avaient énergiquement défendue, la théorie de la formation de la houille par transport a gardé un partisan convaincu en M. X. STAINIER, le distingué Géologue qui a consacré une grande partie de son activité scientifique à l'étude du terrain houiller belge <sup>(4)</sup>.

(1) Dans ses derniers travaux GRAND'EURY dit se rallier à la théorie autochtone et abandonner complètement sa théorie primitive. Comme je le montrerai dans le développement qui va suivre cet abandon est plus apparent que réel.

(2) D'ORBIGNY. — Traité de Paléontologie.

(3) Voir notamment [547] et tous les travaux de cet auteur antérieurs à 1905.

(4) Les idées de M. X. STAINIER ont été développées par lui dans certaines des publications figurant dans la liste bibliographique de ce volume sous les numéros [591] à [601].

## II

## Théories de l'Autochtonie

La théorie de la *formation sur place* des couches de houille ou *théorie autochtone* a été émise en France par ALEXANDRE BRONGNIART [121] qui a signalé le premier la présence, dans les mines du Treuil, d'une véritable forêt fossile pétrifiée en place. Elle fut généralisée par ADOLPHE BRONGNIART [119] et appuyée par CHARLES LYELL [431<sup>b</sup> s] qui l'étaya sur les remarques qu'il fit au cours de ses voyages en Amérique du Nord.

Elle resta en faveur jusqu'à l'apparition des travaux de FAYOL sur le Bassin houiller de Commentry et fut, à ce moment, vigoureusement défendue notamment en Belgique par A. BRIART [113].

La *théorie de l'autochtonie* a trouvé son expression moderne dans les travaux de H. POTONIE [473 à 484] qui lui a donné pour base principale l'étude des tourbières récentes et actuelles de l'Allemagne du Nord et la comparaison des caractères des gisements respectifs des tourbes et des charbons plus évolués (lignites, houilles, anthracites).

## Théorie autochtone de H. Potonié.

Grâce à des recherches et à des observations longues et minutieuses, H. POTONIE a pu mettre en évidence le *cycle évolutif* des tourbières actuelles et élaborer une théorie suivant laquelle la différenciation des types de combustible résulterait du développement de divers *processus de fossilisation*. D'après lui, la fossilisation des débris végétaux n'a pu s'opérer qu'en *milieux aqueux* et les réactions qui l'ont accompagnée sont fonctions de l'épaisseur de la lame d'eau surplombante, épaisseur qui déterminait, comme l'avaient déjà admis MARCEL BERTRAND [631] et M. STEVENSON <sup>(1)</sup>, des oxydations d'amplitudes variables.

D'après H. POTONIE [476], les débris végétaux subissaient postérieurement à la destruction des plantes dont ils dérivent l'un des modes de transformation suivants :

## a. — Destruction totale.

Sur un sol sec et découvert, en présence d'oxygène en excès, ils se transforment intégralement en eau et en différents gaz tels que l'anhydride carbonique et subissent, par conséquent, la *destruction totale*.

## b. — Formation de terreau.

Sur un sol humide riche en débris organiques, tel que le sol d'une forêt, la quantité d'oxygène en présence étant insuffisante pour entraîner la destruction totale, la transformation partielle en eau et en gaz laisse un résidu solide d'hydrocarbure plus riche en carbone que la substance végétale initiale, le *terreau*, substance alcaline ou neutre. H. POTONIE

(1) J. STEVENSON. — *Bull. Soc. Géol. d'Amérique*, V, p. 39 à 70. Voir aussi in CH. PARROIS, *Ann. Soc. Géol. Nord*, T. XL, 1911, p. 156.

NIÉ désigne ce processus de fossilisation par le terme de « *formation de terreau* ». C'est le terreau ou humus qui donne aux sols des forêts et des parcs leur couleur noire caractéristique.

c. — *Tourbification.*

Lorsque la décomposition des débris végétaux a lieu en milieu plus humide et plus pauvre en oxygène, comme cela se produit sur le sol d'une forêt marécageuse ou lorsque certains végétaux tels que les mousses des tourbières (genres *Sphagnum* et *Hypnum*) poussent sur ce sol, les végétaux continuant à croître sur les restes humifiés de la végétation antérieure, il se forme un *humus ou terreau acide*, la *Tourbe*.

Cette *Tourbification* représenterait, d'après H. POTONIE, la phase initiale de la formation de tous les *charbons humiques* dont les tourbes, les lignites et la majorité des houilles correspondraient à différents stades d'évolution.

La tourbification est une formation *éminemment autochtone*, les débris végétaux s'accumulant sensiblement à l'endroit même où vivaient les plantes qui leur ont donné naissance et formant le sol de végétation de la génération suivante.

H. POTONIE estime que c'est de cette façon que se sont formées la plupart des houilles, en particulier *toutes les houilles brillantes*, et il désigne ce processus sous le nom d'*autochtonie terrestre*.

d. — *Putréfaction.*

Lorsque l'accumulation de substances végétales se produit en eaux plus profondes, stagnantes, peu aérées, en l'absence presque totale d'oxygène, la masse organique subit la *putréfaction*, elle se transforme en une boue noire le *sapropèle*.

Les accumulations végétales qui subissaient la putréfaction étaient, d'après POTONIE, assez différentes de celles qui donnaient lieu à la tourbification. Ces dernières dérivant de l'entassement de racines, de branches, de tiges et de feuilles étaient surtout formées par la lignine et les hydrates de carbone qui constituent en majorité le corps des plantes ligneuses.

Au contraire, les masses organiques qui donnent naissance aux boues sapropéliennes ont une double origine.

$\alpha$  — Ce sont d'abord des débris ou des parties de végétaux que l'on rencontre dans les dépôts tourbeux tels que les spores, les grains de pollen et des fragments de bois. Dans les dépôts sapropéliques POTONIE considère ces débris comme *allochtones* et comme *y ayant été amenés par transport*.

$\beta$  — A ces éléments allochtones viennent s'ajouter, en grande abondance, les *restes d'une végétation exclusivement aquatique* formée, presque uniquement, d'algues microscopiques analogues aux fleurs d'eau; restes auxquels se mélangent des débris d'animaux plus ou moins nombreux <sup>(1)</sup>.

(1) Les dépôts sapropéliques de POTONIE sont donc formés, principalement, par l'accumulation du *Planeton* animaux ou végétaux microscopiques vivant à la surface, du *necton* (animaux nageurs) et du *benthos* (animaux vivant sur le fond).

Tous ces êtres s'accumulant sensiblement à l'endroit où ils ont vécu sont, d'après POTONIE, des *éléments autochtones du dépôt*.

Les éléments de deuxième ordre ( $\beta$ ) étant plus nombreux que les premiers ( $\alpha$ ), le dépôt sapropéligène est, d'après l'auteur, *une formation sur place* qu'il considère comme résultant d'une *autochtonie aquatique*. Les lits et filets de houille mate dériveraient d'après lui de telles boues de putréfaction ou sapropèles <sup>(1)</sup>.

Les trois types de combustibles désignés par les termes de *tourbes, lignites et houilles*, dans le sens le plus général attribué à ces mots, dériveraient tous de tels dépôts ou de leurs modifications secondaires. Ces modifications secondaires, qui constituent ce que les géologues désignent sous le nom de phénomène de diagenèse, seraient différents suivant que le dépôt initial appartient au type tourbeux (humique) ou au type sapropélien.

Les dépôts tourbeux ou humiques auraient subi un enrichissement en carbone que POTONIE désigne sous le nom de « *houillification* ». C'est ainsi que se formeraient les *charbons humiques* dont les types sont la *tourbe*, le *lignite xyloïde* et la *houille brillante*.

Les dépôts sapropéliens auraient, également, subi un enrichissement en carbone différent du précédent, la « *bituminisation* » qui conduit aux *charbons sapropéliens* dont les types sont la *fimménite* ou tourbe de pollen, certains *lignites terreux* (houille brune des allemands) et la *houille terne*.

En résumé, les formations de roches combustibles paléozoïques sont, d'après H. POTONIE, *presque exclusivement autochtones* <sup>(2)</sup>. Les houilles brillantes, <sup>(3)</sup> essentiellement lignieuses, dériveraient d'un *tourbage (autochtonie terrestre)* tandis que les houilles mates <sup>(4)</sup> seraient des *roches sapropéliennes* provenant, par conséquent, de phénomènes d'*autochtonie aquatique*.

Les observations de H. POTONIE sur les formations sapropéliennes actuelles venaient confirmer les résultats des belles études micrographiques de C. EG. BERTRAND et de B. RENAULT sur les *Bogheads* (Charbons d'algues) et les *Cannel-Coals*, seules roches combustibles dont les structures étaient connues à cette époque ; de sorte que l'analogie entre les formations sapropéliennes actuelles et les charbons spéciaux bien étudiés par les deux auteurs français contribua à faire admettre la théorie du tourbage en ce qui concerne la formation de la houille.

La publication des travaux de POTONIE provoqua celle de nombreuses notes ou mémoires où les faits d'observation relatifs aux sédiments houillers furent interprétés en faveur de la théorie autochtone, notes ou mémoires parmi lesquels je citerai ceux de G. SCHMITZ [550] et de M. A. RENIER [531, 533].

Cette théorie autochtone fut acceptée par JULES CORNET qui l'exposa dans son remarquable traité de Géologie [138] où il mit en évidence tous les arguments géologiques dont l'interprétation milite en sa faveur.

(1) D'après POTONIE, les roches sapropéliennes (calcaires, schistes, argiles, grès, sapropéliens) seraient les roches mères des pétroles.

(2) A ce sujet H. POTONIE s'exprime de la façon suivante ([476], p. 43) : « Zusammenfassend wäre zu sagen : Ebenso wie heute die ganz überwältigende Menge von Humuslagern autochton ist, war es auch in der geologischen Vorzeit die Norm dassolche Lager an derselben Stelle gebildet wurden, wo auch die Pflanzen, die sie gebildet haben, gewachsen sind. »

(3) Le terme houille brillante (Glanzkohle) est pris ici par POTONIE dans son sens le plus large, il comprend les houilles brillantes et semi-brillantes de ma classification (Vitrain et Clarain de STOPES).

(4) Durain de STOPES.

Elle a été exposée également dans l'ouvrage de vulgarisation de M. J. J. STEVENSON [604] et admise, dans une note récente, par M. D. WHITE [673] qui l'a fait figurer dans le Traité de sédimentation de TWENHOFEL [658].

### III

#### Théories mixtes

Les théories mixtes sont celles qui admettent qu'il existe deux sortes de houille dont l'une s'est accumulée sur place, tandis que l'autre se formait par transport. Elles ont été émises de tout temps, notamment par WITHAM, NAUMANN, DAWSON et GRUNER. La plupart d'entre elles considèrent la formation par transport comme étant exceptionnelle, de sorte qu'elles se confondent presque avec les théories autochtones.

On peut les diviser en deux groupes selon qu'elles admettent la formation simultanée dans le même bassin des deux sortes de houilles ou qu'elles supposent, au contraire, que les deux types de houille caractérisent respectivement les dépôts des bassins paraliques et les bassins limniques.

#### A. — Théorie mixte de C. Grand'Eury admettant la formation simultanée de houilles allochtones et de houilles autochtones dans un même bassin.

Bien que l'on ait affirmé à différentes reprises <sup>(1)</sup> que GRAND'EURY s'était rallié complètement à la théorie classique de l'autochtonie, la lecture de son dernier travail [284] permet de se rendre compte que le distingué paléobotaniste admettait, en réalité, une théorie mixte.

En effet, si les déclarations mêmes de GRAND'EURY dans sa préface peuvent paraître catégoriques et faire croire à une conversion complète de l'auteur à une théorie qu'il avait toujours combattue, la lecture complète de son texte apporte la preuve que ce revirement d'opinion n'était que partiel.

Les passages où GRAND'EURY cite des cas de formation de houille par transport sont très nombreux et je me bornerai ici, pour éclairer ce point important, à signaler certains d'entre eux qui sont particulièrement concluants.

Dans les pages 126 et 127 de l'ouvrage cité [284], GRAND'EURY a écrit :

« Mais sans pouvoir tirer au clair les questions que soulèvent ces études difficiles, il me suffit ici de savoir que les débris de plantes ont longtemps flotté avant d'échouer, que par suite, ils se sont déplacés à la surface des eaux tranquilles et, avec l'humus, subi un plus ou moins long transport dans l'intérieur des marais houillers au fond desquels ils sont allés former des dépôts de matières végétales plus constants que ne l'auraient fait des tourbières plates sur des fonds qui souvent n'étaient rien moins que plans et réguliers ».

Page 130, ce même auteur explique la stratification de la houille par le fait que sa *masse principale est formée* :

« de la presque totalité des plantes de leurs feuilles, tiges, écorces et détritus ayant longtemps flotté avant de se déposer plus régulièrement sur de plus grandes étendues qu'aucun limon, hormis l'argile ».

(1) Voir notamment : J. CORNET. — [137], § 1.102, note 1 de la page 69 du tirage à part. — A. RENIER [533], p. 720, note 3.

A la ligne qui suit immédiatement ce paragraphe GRAND'EURY ajoute comme pour préciser encore sa pensée...

« Il existe cependant du charbon formé sur place... »<sup>(1)</sup>

Enfin, dans ses conclusions, page 168, GRAND'EURY dit en substance :

« Les couches de houille ont pris naissance à l'intérieur de grands marais boisés et leur formation est, dans le sens élargi du mot, autochtone comme s'étant produite dans le milieu où ont poussé et vécu les végétaux qui par leurs dépouilles les ont engendrés. »

Comme l'on peut s'en rendre compte par les citations précédentes, GRAND'EURY admettait dans les dernières années de sa vie que suivant les cas les houilles se formaient par transport ou par accumulation sur place de débris végétaux. Quant à la notion d'*autochtonie dans le milieu* ou d'*autochtonie au sens large*, elle ne diffère en définitive de la notion d'*allochtonie* qu'il avait exposée antérieurement que par l'appellation qu'il lui donne.

En dernière analyse, dans les plus récents de ses travaux, GRAND'EURY n'a modifié son opinion primitive qu'en ce sens qu'il a admis à côté de la fréquence de la formation par transport de nombreux cas de formation sur place des couches de houille.<sup>(2)</sup>

## **B. — Théories admettant la formation de houilles autochtones dans certains bassins et celle de houilles allochtones dans d'autres bassins.**

De telles théories ont été soutenues par WITHAM et par NAUMANN qui ont admis la formation par transport dans les *bassins limniques* analogues à ceux du Centre de la France et la formation sur place dans les *bassins paraliques* tel que celui du Nord et du Pas-de-Calais.

J. Gosslet ([263], p. 145) et J. Cornet ([137], § 1.090) ont également affirmé que la théorie allochtone ne pouvait être défendue qu'en ce qui concerne les bassins limniques. J. Cornet estime (§ 1.090) que la formation par transport ne peut être envisagée que pour le 100<sup>e</sup> des gisements houillers. D'après lui le cas général est l'autochtonie. L'allochtonie ne pourrait tout au plus s'appliquer qu'à quelques cas locaux, à quelques bassins peu étendus ou à quelques endroits limités de grands bassins.

## **IV**

### **Signification des termes allochtonie et autochtonie**

A la suite de l'exposé précédent et pour mieux fixer les idées avant de comparer dans le chapitre suivant les hypothèses sur la formation de la houille qui viennent d'être décrites aux faits d'observation révélés par l'examen microscopique de ces roches combustibles, *il convient*

(1) En plus des citations précédentes GRAND'EURY signale fréquemment d'autres cas d'allochtonie des couches de houilles, notamment dans les développements des pages 145 et 168.

(2) Il n'est pas inutile, à ce point de vue, de rappeler ici que GRAND'EURY semble avoir considéré comme preuve suffisante du caractère autochtone des couches de houille la présence sous celles-ci d'un sol de végétation.

d'abord de définir exactement les termes « allochtonie » et « autochtonie » de façon à éviter, dans la mesure du possible, les simples discussions sur les mots qui dans le domaine scientifique sont généralement stériles.

A l'origine, les termes *allochtonie* et *autochtonie* proposés par VON GÜMBEL en 1883 avaient respectivement la signification précise de *formation par transport* et de *formation sur place* des accumulations de débris de végétaux supérieurs qui ont donné naissance aux couches de houille. En ce qui concerne ces roches combustibles, ces deux termes étaient donc synonymes des mots *alluvionnement* et *tourbage* pris dans leur sens restreint.

Par la suite, surtout en ajoutant aux termes allochtonie et autochtonie certains qualificatifs, l'on s'est éloigné de cette conception simple et claire et on lui a substitué des notions beaucoup plus complexes qui, en réalité, n'ont fait qu'enrichir la terminologie sans contribuer à faire progresser la science dans le domaine qui nous occupe.

H. POTONIÉ et après lui J. CORNET ont proposé de distinguer

1<sup>o</sup> — *L'allochtonie primaire*, terme utilisé pour désigner les phénomènes de transport des débris végétaux *avant leur carbonisation et antérieurement à leur dépôt* sous forme d'alluvion végétale.

2<sup>o</sup> — *L'allochtonie secondaire*, terme qui servirait à nommer les phénomènes de transport de fragments de roches combustibles déjà individualisées et au moins partiellement consolidées.

En introduisant cette distinction H. POTONIÉ a confondu les deux questions essentiellement différentes, quoique connexes, auxquelles j'ai fait allusion plus haut. Personne ne discute, en effet, sur la nature des phénomènes qui ont présidé au remaniement des sédiments houillers, phénomènes qui ne diffèrent pas de ceux que l'on observe dans n'importe quelle formation géologique et que nous voyons se développer sous nos yeux sur les aires d'érosion et de dépôt. Ces phénomènes bien connus n'ont rien à voir avec ceux qui ont présidé à la formation des couches de houille et le rapprochement de ces deux phases différentes de l'évolution des bassins houillers n'apporte aucun éclaircissement en ce qui concerne la genèse des charbons.

Les mêmes auteurs ont également proposé de distinguer :

1<sup>o</sup> — *L'autochtonie terrestre* qui est celle des formations des tourbes de sphaignes constituées par des accumulations de substances végétales *sur le sol même où ont vécu les plantes dont elles dérivent*. D'après H. POTONIÉ et J. CORNET, les houilles brillantes <sup>(1)</sup> dériveraient d'une telle autochtonie terrestre qui caractériserait le groupe des *Charbons humiques*.

2<sup>o</sup> — *L'autochtonie aquatique* caractériserait, au contraire, le mode de formation des *roches sapropéliennes* ou *roches bitumineuses* dont le type est le *Boghead* ou *Charbon d'algues* et parmi

(1) Ce terme étant pris au sens large pour désigner l'ensemble « *houille brillante (Vitrain)-houille semi-brillante (Clairain)* » de la nomenclature utilisée dans ce mémoire.



lesquels l'on doit ranger, d'après ces mêmes auteurs, les Cannel-Coals et les houilles mates (Durains), <sup>(1)</sup> Ce qui caractérise cette autochtonie aquatique serait la présence des dépouilles d'animaux microscopiques qui constituent le plancton.

Sans discuter ici sur l'opportunité d'appliquer le mot *autochtone* (propre au sol) à des êtres vivants à la surface de l'eau, s'y déplaçant sous l'influence des courants et dont la chute après leur mort n'était certainement pas verticale, je me bornerai à faire remarquer que le terme *autochtonie aquatique* fait double emploi avec le terme d'application plus générale et connu de tous les pétrographes, celui de *sédimentation planctogène* utilisé depuis très longtemps pour désigner toutes les roches formées essentiellement par accumulation des êtres microscopiques vivant à la surface de l'eau (plancton) auxquels venaient s'ajouter les dépouilles des animaux nageurs (necton) ou vivant sur le fond (benthos).

Ici encore, la proposition de H. POTONIE ne tend qu'à introduire un langage particulier aux roches combustibles alors que la terminologie courante, applicable à toutes les roches, définit très clairement le phénomène.

Dans son dernier travail [284] GRAND'EURY a utilisé dans des sens très différents les deux locutions d'« *autochtonie au sens strict* » et d'« *autochtonie dans le sens élargi du mot* ».

L'« *autochtonie au sens strict* » se confond avec l'autochtonie de VON GÜMBEL, elle ne prête pas à équivoque et sert à désigner des formations sur place <sup>(2)</sup>.

Quant à l'« *autochtonie dans le sens élargi du mot* », il résulte de la lecture du texte de GRAND'EURY qu'en substituant à la notion pure et simple d'autochtonie celle d'« *autochtonie dans le milieu* » cet auteur a réussi, par un artifice de langage, à désigner par ce nouveau terme la notion d'allochtonie de ses travaux antérieurs [278] sans lui faire subir aucune modification importante.

Dans ces conditions, le « terme autochtonie au sens large » devient synonyme du terme « allochtonie » et ne saurait être utilisé dans ce sens sans prêter à équivoque.

## Conclusions du Chapitre vingt-et-unième

Comme conclusion à ce chapitre, je tiens à signaler que les termes « *allochtonie* » et « *autochtonie* » ne peuvent être utilisés sans équivoque que dans les sens clairs et précis qu'on leur a donnés à l'origine, sens que je rappellerai dans les deux paragraphes suivants :

1° — Dire qu'une couche de houille est *allochtone* (étrangère au sol) c'est affirmer qu'elle s'est formée par accumulation de débris végétaux *sur des aires de dépôt différentes des sols de végétation de la forêt où croissaient les plantes dont ils proviennent* et qu'elle représente une formation

(1) Nous avons vu précédemment (Chap. XXI<sup>e</sup>) que les houilles mates ne peuvent être classées parmi les sédiments sapropéliens.

(2) A ce sujet, GRAND'EURY a écrit ([284], p. 168, § 2) : « Ces sols fossiles en place, augmentés d'une somme plus ou moins importante de matières végétales accumulées au pied des arbres, constituent dans le sens strict du mot des formations autochtones ».

*sédimentaire au même titre que les schistes ou les grès qui se sont déposés sur certains sols de végétation fossiles.*

2° — Dire qu'une couche de houille est *autochtone* (propre au sol) c'est prétendre, au contraire, qu'elle dérive d'une accumulation de débris végétaux *sur un sol de végétation où continuaient à croître les végétaux qui leur ont donné naissance ou ceux qui leur ont immédiatement succédé.*

En dernière analyse, je considérerai comme se prévalant de *l'idée d'autochtonie* toute théorie qui n'admet *le transport des débris végétaux que dans les limites du sol de la forêt houillère* qui leur a donné naissance. *A contrario*, je rangerai parmi les *théories de l'allochtonie* toutes celles qui estiment *que ce transport, plus important, présentait une intensité suffisante pour permettre l'accumulation des débris organisés sur des aires de dépôt autres que celles comprises dans ces mêmes limites de la forêt marécageuse* quel que soit leur éloignement de la dite forêt.

---

## CHAPITRE VINGT-DEUXIÈME

**Les hypothèses de l'allochtonie  
et de l'autochtonie des couches de houille  
devant les faits révélés par leur examen microscopique**

## SOMMAIRE

- I. — LES CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES HOUILLES TELS QU'ILS SONT ENVISAGÉS DANS L'HYPOTHÈSE DE L'AUTOCHTONIE.  
II. — LES CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES HOUILLES MIS EN ÉVIDENCE PAR LEUR ÉTUDE MICROSCOPIQUE. — A. Les houilles de cutine sont des sédiments transportés. — B. Les houilles ligno-cellulosiques sont des sédiments transportés.  
C. — La stratification est un caractère essentiel des couches de houille.

## I

**Les caractères généraux des houilles tels qu'ils sont envisagés  
dans l'hypothèse de l'autochtonie**

La théorie de la formation sur place des couches de houille ou théorie de l'autochtonie a amené naturellement H. POTONIE aux conclusions suivantes concernant la genèse des veines de charbon.

1<sup>o</sup> — La *presque totalité* des couches de houille dérive d'une *autochtonie terrestre*, c'est-à-dire de phénomènes de *tourbage* qui se sont développés sur le sol même de la forêt houillère.

Les *lits de houille mate* sont des formations sapropéliennes résultant de phénomènes d'*autochtonie aquatique*.

Dans ces roches combustibles les éléments transportés ou éléments allochtones font complètement défaut ou sont très peu nombreux.

2<sup>o</sup> — Les *roches stériles* (schistes, grès, conglomérats) *sont des roches allochtones*, tous leurs éléments, *y compris les débris végétaux qu'elles contiennent* (spores, cuticules, feuilles entières, branches, tiges etc...) ayant subi des phénomènes de transport.

Cette théorie repose sur les concepts suivants qui ont été énoncés par H. POTONIE à différentes reprises, notamment dans son mémoire sur la formation de la houille [476].

a. — *Toutes les parties des houilles, à l'exception des lits de houille mate, sont constituées par un feutrage de débris végétaux de grande taille* tels que des grands fragments d'écorce, des branches, des tiges ou des racines entières auxquels venaient s'ajouter, en proportions plus faibles des feuilles et des spores. Comme GRAND'EURY et FAYOL l'avaient fait avant lui, POTONIÉ admettait donc que les houilles sont caractérisées par la présence de très grands débris végétaux.

b. — A l'inverse des houilles, *toutes les roches stériles* (schistes, grès, conglomérats) sont caractérisées par la présence de débris végétaux très divisés dont la désagrégation est la conséquence des phénomènes de transport et se trouve liée, par conséquent, à leur caractère allochtone. Ce sont ces débris très divisés que H. POTONIÉ désigne par le terme de *plantes hachées* (*Häc̄sel* = coupage = plantes hachées comme de la paille). Selon lui les feuilles de fougères comprenant de nombreuses pinnules étalées dans certains schistes, les fragments de Fusain, les branches ou parties de tiges des grès ou des conglomérats entrent dans la catégorie des plantes hachées <sup>(1)</sup>.

En dernière analyse, H. POTONIÉ estime donc que les débris végétaux qui ont donné naissance aux houilles sont de plus grande taille que ceux que l'on observe dans les roches stériles dont il admet le caractère allochtone.

Dans ces conditions, il convient de rechercher si les conceptions hypothétiques de H. POTONIÉ <sup>(2)</sup> sur la structure intime des houilles se trouve confirmée ou infirmée par l'étude microscopique de ces roches combustibles.

## II

### Les caractères des houilles mis en évidence par leur structure microscopique

#### PLANCHE I A LXVI

A cette interprétation hypothétique de H. POTONIÉ sur la structure des houilles s'opposent tous les faits d'observations que j'ai pu mettre en évidence par l'étude microscopique de toutes les houilles que j'ai étudiées jusqu'ici.

(1) Ceci résulte du fait que H. POTONIÉ classe parmi les « plantes hachées » les troncs d'arbres qui ont subi un transport transatlantique du fait du *Gulf-Stream*. Voir notamment ([476], p. 12).

(2) Il y a lieu de faire remarquer ici que la présence dans la houille des grands fragments d'écorce des branches, des tiges et des racines n'est prouvée par aucune observation faite dans la masse de la houille elle-même. Lorsque cette conception s'appuie sur les observations que permettent les coal-balls, elle s'étaye elle-même sur l'hypothèse que la houille encaissante était primitivement identique au feutrage végétal des dits coal-balls, hypothèse dont la démonstration reste à faire. Même en supposant cette identité démontrée, l'extension à de nombreuses veines de houille, sans concrétions carbonatées à structures conservées, d'observations faites dans un très petit nombre de veines à coal-balls garderait encore un caractère hypothétique.

A ce dernier point de vue, il n'est pas inutile de rappeler que dans le Bassin houiller du Nord de la France, malgré des recherches minutieuses poursuivies depuis plus de vingt années, à la demande de M. CH. BARROIS, les nodules à structures conservées sont demeurés introuvables et qu'en Angleterre, en Belgique et en Westphalie les coal-balls n'ont été rencontrés que dans un très petit nombre de couches de houilles et en certains points bien localisés de celles-ci. (Voir à ce sujet : SUZANNE LECLERCQ [383].

Aucune des houilles examinées par moi en surfaces polies ne présente la structure décrite par H. POTONIE et admise avant lui par FAYOL et GRAND'EURY. Contrairement à ce qu'ont affirmé ces auteurs et beaucoup d'autres, je n'ai jamais pu observer dans la houille ni racines, ni troncs, ni tiges, ni branches, ni enfin les grands fragments d'écorce fréquemment décrits, mais jamais figurés.

Par contre, toutes les structures mises en évidence par l'examen microscopique et représentées par les microphotographies (plus de 300) figurant sur les planches de ce travail montrent *que toutes les houilles étudiées dérivent de véritables alluvions végétales* et sont, par conséquent, des sédiments formés d'éléments transportés.

#### **A. — Les Charbons de Cutine (houilles de Cutine, Cannel-Coals) sont des sédiments transportés.**

*Le rôle des phénomènes de transport dans la genèse des charbons de Cutine (ch. de spores et ch. de cuticules) ne peut être mis en doute, car une fois révélée leur structure microscopique l'opinion de tous les auteurs, même celle des partisans les plus convaincus de la formation sur place, est unanime sur ce point.*

Les figures 1 à 138 (Pl. I à XXVI), 208 à 223 (Pl. XL à XLV), pour ne citer que les principales parmi celles qui accompagnent cet ouvrage, *prouvent que les charbons de cutine sont constitués surtout par des accumulations de microspores auxquelles viennent s'ajouter des macrospores et des cuticules plus ou moins nombreuses.* Les corps résineux, quoique assez fréquents, et les fragments de tissus ligneux faisant rarement complètement défaut n'ont joué que des rôles *pratiquement négligeables* dans la genèse de ces charbons.

La grande abondance des débris cutinisés, la stratification très fine de tous les éléments figurés et les caractères généraux de ces houilles bien visibles sur les macrophotographies (Fig. 208, 210, 212 à 223, Pl. XL à XLV) ne permettent pas de douter que la structure observée est bien une structure primaire et non une structure secondairement acquise.

Or, tous ces caractères que je viens de rappeler sommairement *placent les houilles de cutine immédiatement à côté d'un autre type de charbon de spores, les Cannel-Coals*, que les partisans de la formation sur place considèrent eux-mêmes comme des accumulations *constituées surtout par des apports éoliens* de spores et de grains de pollen <sup>(1)</sup>.

Entre les houilles de cutine et les Cannel-Coals <sup>(2)</sup>, il n'existe de différences que sur des points secondaires qui sont la rareté relative des macrospores et des cuticules dans les Cannels et l'altération plus poussée, ou tout au moins différente, des débris organisés de ces charbons spéciaux par rapport à ceux des houilles. *Ces différences secondaires sont du reste très atténuées dans certains cas particuliers où des lits de houille de microspores (Fig. 45 à 48, Pl. IX) ou certaines houilles à spores et à cuticules altérées (Fig. 49 et 50, Pl. X) sont quasi identiques à certains Cannel-Coals.*

La similitude de structure et de texture des houilles de cutine et des Cannel-Coals ne

(1) Voir à ce sujet : A. RÉNIER — [533], p. 723.

(2) Le terme *Cannel-Coals* est pris ici dans le sens de *gayet de spores* s'opposant essentiellement au terme *Pseudo-Cannel-Coals* synonyme de *gayet de débris de tissus ligneux* dont il sera question dans le paragraphe suivant.

permet pas d'envisager pour ces deux types de charbons de spores, *résultant d'évolutions différentes d'accumulations végétales identiques, des origines essentiellement distinctes.*

L'extension obligatoire aux houilles de cutine de l'opinion émise au sujet des Cannel-Coals par des partisans de la théorie autochtone *conduit donc à considérer ces houilles comme des sédiments éoliens* et à leur attribuer, par conséquent, *des caractères allochtones plus accentués que ceux que j'avais moi même envisagés, puisque j'ai toujours admis comme mode de transport des spores des houilles l'action combinée des vents et des courants lents (flottage) <sup>(1)</sup>, les charbons de spores (houilles de spores et Cannel-Coals) représentant selon moi, des formations d'eaux calmes qui ne sont pas nécessairement des sédiments d'eau profonde.*

Dans le Nord de la France, le caractère de sédiment transporté ainsi mis en évidence doit donc être attribué à toutes les *houilles de cutine* (houilles bitumineuses) dont la répartition géographique est figurée en noir sur la planche B de ce mémoire et aux Cannel-Coals (Gaycts à spores) dont l'extension horizontale est sensiblement identique.

### **B. — Les Charbons ligno-cellulosiques (houilles ligno-cellulosiques, Pseudo-Cannel-Coals) sont des sédiments transportés.**

*Dans les charbons ligno-cellulosiques les effets du transport ne sont pas davantage contestables.*

La structure microscopique des houilles ligno-cellulosiques est représentée par la plupart des figures des planches XXVII à XXXIX (Fig. 139 à 207) et XLVI à XLIX (Fig. 224 à 244) de ce mémoire et a fait l'objet de la figuration de certains de mes travaux antérieurs. *Dans aucun cas cette structure ne m'a révélé la présence des tiges, des racines, des branches, des troncs ou même des grands fragments d'écorce* dont parle H. POTONIE et dont l'existence avait été admise avant lui par GRAND'EURY et FAYOL.

L'étude microscopique des houilles ligno-cellulosiques montre, au contraire, *que les seuls débris organisés fréquents de ces charbons sont des menus fragments de tissus ligneux* (bois, sclérenchyme) *dont les états de division sont tels* qu'ils méritent au plus haut degré le nom de *plantes hachées.*

Le morcellement mécanique de ces fragments de tissus ligneux est bien plus accentué que celui des débris végétaux des schistes et des grès qui représentent fréquemment des organes entiers (feuilles, tiges, branches, troncs, racines). Dans les houilles ligno-cellulosiques ce morcellement des débris végétaux est tel qu'il est impossible de déterminer la nature de l'organe dont ils dérivent et que les fragments mesurant quelques centimètres sont rares. La plupart d'entre eux ont des dimensions de l'ordre du millimètre et souvent même de celui du 1/10<sup>e</sup> ou du 1/100<sup>e</sup> de millimètre.

Les débris ligneux des charbons qui nous occupent sont donc analogues à ceux qui existent dans les formations plus récentes que J. CORNET a décrits *comme ayant une origine allochtone* ([137] §. 1.088) et que l'on rencontre... « dans le Wealdien du Hainaut, à Hautrages Villerot, Maisières etc... où l'on trouve une grande quantité de bois lignitifé de conifères,

(1) Voir en particulier le schéma que j'ai publié page 228 de la note [188] où le caractère mixte de ce transport est clairement indiqué.

rarement en troncs entiers, ordinairement en fragments déchiquetés et hachés mêlés en désordre à des graviers ou à des sables ligniteux ».

Si l'on prend comme critérium du caractère des éléments transportés celui adopté par H. POTONIE, G. SCHMITZ et J. CORNET, qui est le degré élevé du morcellement des débris végétaux, l'on doit admettre que les éléments figurés des houilles ligno-cellulosiques, représentés presque uniquement par des menus débris de tissus ligneux gélifiés ou transformés en Fusain, *offrent à un plus haut degré que ceux des grès et des schistes houillers les caractéristiques des éléments allochtones.*

Cette conclusion jointe aux caractères généraux de ces roches qui sont très finement stratifiées conduit à admettre la *formation par flottage de tous les charbons ligno-cellulosiques*, (Charbons humiques de H. POTONIE), qu'il s'agisse des *houilles ligno-cellulosiques*, dont la répartition dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais est figurée par des hachures pleines ou brisées sur la carte de la Planche B, ou des *Pseudo-Cannel-Coals* qui sont, comme je l'ai dit précédemment, des gayets plus ou moins riches en débris de tissus ligneux que l'on rencontre, assez rarement il est vrai, dans les mêmes régions du gisement que les houilles précédentes.

### C. — La stratification est un caractère essentiel et primordial des Veines de houille.

Le caractère essentiellement stratifié de toutes les houilles du Nord de la France et d'autres gisements *pouvant être observé directement sur la plupart des figures des 66 planches phototypiques de ce mémoire*, je ne m'attarderai pas ici à développer tous les arguments militant en faveur de cette manière de voir. Je me propose simplement de reprendre dans ce développement un certain nombre d'hypothèses qui ont été émises par les partisans de la théorie autochtone pour nier la réalité de la stratification des houilles, hypothèses qui sont en contradiction avec tous les faits mis en évidence par l'examen microscopique des charbons.

Pour expliquer l'aspect stratifié des *houilles rayées* <sup>(1)</sup> qui présentent ce caractère au plus haut point, H. POTONIE a admis [476] que la formation de ces charbons résultait d'alternances de dépôts tourbeux (autochtonie terrestre) générateur des lits brillants et de dépôts sapropéliens (autochtonie aquatique) qui ont été des points de départ de la formation des lits mats.

Même à l'époque où elle a été émise, alors qu'on ne connaissait pas la structure des deux types de lits mats et brillants, cette hypothèse de H. POTONIE était difficilement soutenable, car son adoption n'était guère compatible avec les caractères essentiels que ce même auteur avait attribués à ces deux genres de formations.

En effet, s'il en était ainsi il faudrait supposer, d'après les conceptions mêmes de H. POTONIE, que dans la genèse d'une couche de houille rayée il y avait de nombreuses alternances des deux modes de formation essentiellement différents que sont respectivement les dépôts d'eau profonde (accumulations sapropéliennes) et quasi terrestres (accumulations tourbeuses). S'il en avait été

(1) Ces houilles rayées ou rubannées sont désignées en Allemagne par le terme « *Streifenkohle* » qui est l'équivalent des termes *houille nerveuse*, de *houille barrée* et de *banded coal*. L'on peut les observer dans tous les types de houilles, mais elles ne sont fréquentes que parmi les houilles de cutine (= houilles bitumineuses.)

réellement ainsi chacune des variétés de lits devrait avoir une extension horizontale considérable, puisque chaque épisode correspond forcément à une subsidence importante ou à une quasi émergence des aires de dépôt. Or, c'est un fait bien connu de tous ceux qui ont observé les houilles, que les lits mats et les lits brillants en question ont des extensions horizontales très limitées et passent latéralement les uns aux autres (Voir en particulier Fig. 216, Pl. XLII). Ce n'est qu'exceptionnellement qu'il est possible de suivre l'un de ces lits sur des longueurs de l'ordre de plusieurs mètres et beaucoup d'entre eux n'ont que quelques décimètres ou quelques centimètres de longueur. Accepter cette hypothèse de POTONIE c'était donc admettre que sur des espaces de l'ordre de quelques dizaines de mètres, et souvent de quelques mètres, il se déposait simultanément sur le sol de la lagune houillère des dépôts planctogènes d'eau profonde (sapropèles) et des dépôts les plus littoraux que l'on puisse concevoir (tourbes), ce qui de toute évidence est absolument impossible.

Cette hypothèse de H. POTONIE a du reste été complètement infirmée par l'étude microscopique des houilles de ce type *qui montre que les lits mats et les lits brillants se sont formés dans les mêmes conditions de dépôt*, les différences qui les caractérisent *tenant uniquement aux variations observées dans les quantités de débris organisés apportés sur les aires d'accumulation au moment de la genèse de chacun d'eux*.

La stratification des houilles rayées est donc incontestablement liée à des phénomènes de sédimentation réels.

J'ai pu montrer ou observer que cette stratification fine existe non seulement dans les houilles bitumineuses, où sa netteté s'explique par leurs caractères lithologiques et paléontologiques, mais encore dans les anthracites les plus compacts, tels que ceux de Messeix (Puy de Dôme) de Djeradda (Maroc) ou de la fameuse veine « Mammoth » (U. S. A.) dont la structure est nettement mise en évidence par simple polissage.

L'on a parfois invoqué, pour expliquer l'allure stratifiée de certaines houilles, le développement dans leur masse *d'une sorte de schistosité* résultant de leur compression sous le poids des sédiments sus-jacents. Dans cette hypothèse, il s'agirait de cette schistosité grossière qui affecte, selon M. FOURMARIER, ([238], p. 520) beaucoup de schistes houillers où la division en plaquettes se fait parallèlement au plan de stratification de la roche et dont les caractères sont assez différents de ceux des schistosités véritables résultant de compressions violentes.

Il est évident que si cette hypothèse était vraie, la structure microscopique des houilles devrait révéler des phénomènes de tassement et de compression des débris organisés résultant des pressions verticales dirigées de haut en bas que la roche combustible aurait forcément subies. Or, l'étude microscopique montre, comme on peut s'en rendre compte par l'examen des figures des 66 planches de ce volume, *que ces phénomènes de tassement et de compression n'existent pas* ; les débris organisés des houilles finement stratifiés dans le ciment colloïdal amorphe ne se touchant pas et étant parfois séparés les uns des autres par des espaces relativement considérables.

D'autre part, j'ai pu montrer <sup>(1)</sup> que lorsqu'il existe dans la houille une véritable schistosité celle-ci, comme dans toutes les roches schisteuses, ne coïncide qu'accidentellement avec la direc-

(1) Voir : Livre premier, Chapitre XII<sup>e</sup> et Planche LXV.



tion du plan de stratification et se manifeste toujours par des aspects tout différents (cassure ou clivage schisteux) de ceux qui indiquent le caractère stratifié des houilles.

En résumé, lorsqu'il existe dans une houille *un ou plusieurs délits schisteux*, ces derniers *ne simulent nullement une apparence stratifiée*, tandis que l'examen microscopique montre clairement que les éléments figurés des charbons paléozoïques n'ont pas subi de tassement, *leur stratification étant la plus fine et la plus parfaite que l'on puisse imaginer* <sup>(1)</sup>. Contrairement à l'opinion de certains auteurs, le développement d'une schistosité dans une houille donnée *tend plutôt à masquer le caractère stratifié* et ne l'accroît dans aucun des cas que j'ai pu observer.

Enfin, les partisans de la théorie de la formation sur place ont aussi invoqué, pour expliquer ce qu'ils considéraient comme une apparence stratifiée des houilles, *le dépôt à plat de leurs éléments organisés suivi d'une diminution de volume importante* résultant de la contraction de la masse plastique initiale.

Ici encore, ces interprétations sont en désaccord avec tous les faits qui ont pu être observés directement dans la masse des houilles. J'ai pu montrer, en effet, (Livre premier, Chapitre X<sup>e</sup>) que la contraction des masses plastiques que constituaient les accumulations végétales récemment formées *s'était manifestée par le développement de vides de retrait importants* (Fig. 266 à 279, Pl. LVI à LVIII) qui ont plutôt bouleversé l'alignement des lits de houilles et n'ont jamais accentué leur caractère stratifié.

En résumé, les trois hypothèses que je viens de rappeler ont été adoptées par les partisans de la théorie autochtone (théorie de la formation sur place) dans le but d'attribuer une origine secondaire à l'aspect stratifié des houilles. A l'époque où elles ont été émises, elles ne prétendaient à rien moins qu'à *donner une interprétation hypothétique de ce fait d'observation* révélé par le simple examen macroscopique que, comme l'a affirmé M. X. STAINIER, « *les houilles sont de toutes les roches connues celles dont la stratification est la plus parfaite et la plus fine qu'on puisse imaginer* ».

Les recherches microscopiques sont venues confirmer la finesse de cette stratification qui est primordiale et non acquise comme on l'a parfois prétendu.

## Conclusions du Chapitre vingt-deuxième

En résumé, l'examen microscopique, confirmé du reste par les observations à l'œil nu ou à la loupe d'échantillons de houilles brutes ou polies, *montre que les houilles peuvent être classées parmi les roches les plus finement stratifiées que l'on connaisse*.

Une couche de houille du type de toutes celles du Nord de la France, qui ont été examinées

(1) Il n'est pas inutile d'insister sur le fait que la stratification des débris végétaux des houilles se révèle à l'examen microscopique *comme étant beaucoup plus fine que celle des sédiments les plus fins* qui ont été décrits jusqu'ici.

jusqu'ici <sup>(1)</sup> doit donc être considérée, non pas comme un ancien sol de tourbière sur lequel continuait à croître les végétaux houillers sur les débris de leurs devanciers, *mais comme un sédiment végétal* accumulé dans un bassin lacustre *plus ou moins loin du lieu où étaient enracinés les végétaux dont provenaient les débris organisés qu'on y observe aujourd'hui.*

Autrement dit, la région où la forêt dont dérivait les débris végétaux d'une couche de houille donnée, nous a laissé la trace d'un phénomène incontestablement autochtone sous la forme d'un mur à *Stigmaria*, d'une part, et l'aire où le sédiment végétal s'est déposé en formant la couche de houille où se révèlent les traces également certaines d'un transport des débris végétaux qui est essentiellement un phénomène allochtone, d'autre part, *se trouvaient respectivement placées dans des conditions physiques absolument différentes.*

Dans le cas très général où l'on observe la superposition de la couche de houille à un tel mur à *Stigmaria*, *j'ai donc été amené à admettre qu'entre la formation de ce sol de végétation et le dépôt de l'alluvion végétale les conditions physiques du lieu ont été profondément modifiées.*

Ainsi définie, l'« allochtonie » des couches de houille est une notion qui se confond presque avec celle d'« autochtonie dans le sens élargi du mot » de GRAND-EURY, cette dernière notion n'ayant en réalité rien de commun avec celle d'« autochtonie au sens strict » des partisans de la théorie du tourbage.

(1) Je tiens à rappeler ici que les échantillons étudiés par moi *représentent à peu près tous les niveaux de veines exploitées* dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais et que beaucoup de ces niveaux ont pu être examinés *dans toute leur épaisseur* et en *différents points* assez éloignés les uns des autres. Les énumérations contenues dans le chapitre XVIII<sup>e</sup> (Livre premier), n'indiquent qu'une partie seulement des veines étudiées.

Dans ces conditions, même en admettant qu'il soit démontré ultérieurement que certaines couches de houille ou certaines parties de couche de houille de ce même gisement ont eu une origine autochtone et résulteraient de phénomènes de tourbage, *les phénomènes de formation par transport des couches de houille n'en conserveraient pas moins* dans notre Bassin houiller *leurs caractères de généralité.*

## DEUXIÈME PARTIE

## MODES DE FORMATION DES ROCHES HOUILLÈRES STÉRILES ET COMBUSTIBLES

L'hypothèse de l'autochtonie (formation sur place par tourbage) expliquait la formation des couches de houille et des stampes stériles en admettant l'existence de deux cycles sédimentaires se répétant continuellement et correspondant à des périodes distinctes pendant lesquelles se déposaient respectivement les tourbes ou les sédiments minéraux.

La théorie de l'alluvionnement végétal que j'ai exposée dans le chapitre précédent suppose, au contraire, que *les formations combustibles et stériles* pouvaient être contemporaines, leurs dépôts initiaux s'accumulant *en même temps en des points différents de la même lagune*. Cette théorie écarte donc l'hypothèse de la succession de deux types de phénomènes sédimentaires. Les sédiments minéraux et les roches combustibles offrant certaines communautés d'origine, nous nous trouverons naturellement amenés à étudier en même temps et de façon comparative la genèse de ces sédiments. Cette étude fera l'objet des chapitres suivants énumérés dans le sommaire ci-dessous.

## SOMMAIRE

CHAPITRE XXIII<sup>e</sup>. — *Les caractères généraux du paysage houiller*. — I. Caractères de la Flore. — Position de la Forêt houillère. — II. Caractères du relief des aires continentales.

CHAPITRE XXIV<sup>e</sup>. — *Modes de formation des divers types de sédiments houillers*. — I. Formation des roches stériles. — II. Formation des roches combustibles. — III. Formation des roches mixtes. — IV. Répartition horizontale des divers types de sédiments houillers.

CHAPITRE XXV<sup>e</sup>. — *Superposition des divers types de sédiments houillers*. — I. Mécanisme de la superposition des sédiments houillers. — II. Explication de la présence des sols de végétation (*murs à stigmaria*) sous les couches de houilles allochtones.

CHAPITRE XXVI<sup>e</sup>. — *Genèse du Fusain et des débris de tissus ligneux gélifiés des roches houillères*. — I. La question des troncs d'arbres debout. — II. Genèse des débris de tissus ligneux. — Origines des fragments de bois gélifiés (Xylain, Xylovitrain) et du Fusain.

## CHAPITRE VINGT-TROISIÈME

**Les caractères généraux du paysage houiller**

## SOMMAIRE

- I. — LES CARACTÈRES DE LA FLORE. — POSITION DE LA FORÊT HOUILLÈRE. — Caractère paludéen de la végétation houillère. — Faible lignification du bois des végétaux houillers. — Cantonnement des forêts houillères dans les zones côtières des lagunes où s'accumulaient les alluvions organogènes et minérogènes.
- II. — LES CARACTÈRES DU RELIEF DES AIRES CONTINENTALES. — Existence dans le voisinage des rives marécageuses boisées de la lagune houillère d'escarpements formés par des affleurements de roches houillères antérieures ou par des massifs granitiques ou de roches cristallines. — Répétition des phénomènes de subsidence et d'érection des aires continentales. — Limitation aux régions côtières des zones d'extension de la forêt houillère.

Les phénomènes de sédimentation ont été influencés à un moment donné par les caractères de la flore, de la faune, du relief et du climat qui déterminaient le jeu des actions d'érosion et de dépôt. Ces différents facteurs ont joué des rôles importants dans la lithogénèse des sédiments houillers, de sorte que pour fixer les idées j'esquisserai rapidement dans le présent chapitre ce que paraissent avoir été les conditions physiques du milieu où se formaient les couches de houille et les roches stériles.

## I

**Caractères de la Flore. — Position de la Forêt houillère**

Tous les paléobotanistes sont d'accord pour admettre que la flore houillère était constituée presque uniquement d'espèces marécageuses, très peu d'espèces franchement terrestres ayant été reconnues jusqu'ici.

L'habitat paludéen des espèces houillères est mis en évidence par les caractères anatomiques <sup>(1)</sup>. Les végétaux carbonifères les plus caractéristiques ont, en effet, un cylindre

(1) En parlant du *Xérophytisme* des végétaux houillers, qui se traduit par une organisation indiquant une tendance très marquée à se protéger contre les dangers d'une évaporation trop rapide, M. P. BERTRAND s'exprime de la façon suivante : (*Ann. Soc. Géol. Nord*, T. XXXVIII, (1909), p. 118).

« Il est d'autant plus significatif, que d'autres faits nous prouvent que toutes ces plantes avaient une énorme quantité d'eau à leur disposition. *Les fibres ligneuses ont en effet des dimensions inusitées* ; ce sont les plus grandes que l'on connaisse ; elles dénotent une circulation abondante de liquide des racines vers les feuilles. Nous savons, du reste, que dans la tourbière houillère, comme dans nos tourbières plates actuelles, le sol était gorgé d'eau.

central formé surtout de tissus cellulósiques lacuneux. D'après M. P. BERTRAND les tissus vasculaires ligneux (bois des botanistes) des Sigillaires et des Lépidodendrons étaient eux-mêmes très peu lignifiés, le rôle de soutien étant surtout dévolu aux fibres ligneuses corticales (sclérenchyme). Ceci explique un fait d'observation courante, *l'absence de fossilisation des tissus constitutifs du cylindre central* qui par sa destruction hâtive dans les premiers stades de fossilisation a permis *l'aplatissement des troncs couchés* et *le remplissage par les roches stériles encaissantes (schistes ou grès) des troncs debout*. Dans de tels troncs la seule zone capable d'être houillifiée était l'étui cortical relativement mince et fréquemment transformé en houille brillante (Xylovitrain).

La destruction du cylindre central était d'autant plus facile qu'il était constitué de tissus cellulósiques très lâches contenant de nombreuses lacunes, tissus cellulósiques que l'on ne rencontre que très rarement fossilisés dans les houilles.

Cette structure particulière des plantes houillères (Sigillaires, Lépidodendrons), que certains auteurs considèrent comme ayant joué un rôle primordial dans la genèse de beaucoup de nos veines de houille <sup>(1)</sup>, met en évidence deux faits très importants sur lesquels j'aurai l'occasion de revenir.

1<sup>o</sup> — Malgré leurs tailles gigantesques ces végétaux ne contenaient, eu égard à leur masse, qu'une quantité de substances ligneuses relativement faible et répartie presque uniquement dans leur zone corticale qui se retrouve seule houillifiée dans les troncs debout ou couchés des stériles. Leur cylindre central, formé de tissus *cellulósiques lacuneux*, était *gorgé d'eau* <sup>(2)</sup>, eau qui par sa présence assurait à ces tissus leur turgescence et contribuait à donner au végétal sa rigidité.

2<sup>o</sup> — Après la mort du végétal la destruction rapide du cylindre central rendue possible par sa composition (tissus lâches et cellulósiques) devait fatalement entraîner, dans la plupart des cas, le morcellement de l'écorce ligneuse en menus débris analogues à ceux qui existent dans les houilles et les schistes charbonneux.

Le caractère marécageux des plantes houillères étant établi, le fait que ces végétaux s'enracinaient toujours dans les boues argileuses ou dans les sables qui se sont transformés par la suite en schistes ou en grès a amené les paléobotanistes et les géologues à admettre que la forêt houillère se développait sur le bord même de la lagune dans des zones inondées sous de faibles profondeurs d'eau.

Il résulte de ces faits que la topographie de la région houillère devait comprendre :

- a) des *aires continentales* élevées à peu près dépourvues de végétation et, pour cette raison, livrées sans défense à l'action abrasive des eaux de ruissellement (eaux sauvages, cours d'eau, etc...)
- b) des *zones marécageuses* basses envahies par une végétation luxuriante, quasi tropicale, à croissance extrêmement rapide dont l'existence était relativement éphémère.
- c) Une *dépression côtière* séparée de la pleine mer d'une façon plus ou moins complète et

(1) Cette idée du rôle prépondérant des lépidophytes dans la formation de nos couches de houille avait été émise d'après l'abondance des vestiges de ces végétaux dans les stériles par M. P. BERTRAND [87]. Les innombrables macro et microspores des houilles de cutine proviennent, selon toute vraisemblance, en majorité de ces plantes. L'existence de très nombreuses veines de ce type que nous a révélée le microscope est venue confirmer cette hypothèse.

(2) D'après M. P. BERTRAND (*Ann. Soc. Géol. Nord*, T. XXXVIII, (1909) p. 119). Le diamètre des éléments ligneux était 4 à 5 fois plus grand chez les Lépidodendrons que dans le bois de printemps des conifères actuelles, ce qui correspond à une réserve d'eau disponible 16 à 25 fois plus forte.

plus ou moins précaire qui permettait, suivant les cas, l'établissement des régimes d'eau douce, d'eau saumâtre et parfois du régime marin.

## II

### Caractères du relief des aires continentales

Des indications précises sur le relief des aires continentales nous sont données par les sédiments houillers dont les matériaux, aujourd'hui consolidés, représentent les éléments meubles jetés dans la lagune houillère et provenant du démantèlement continu de ce relief.

La puissance des sédiments houillers fournit une première indication sur l'importance des phénomènes d'érosion et de transport des éléments détritiques par les eaux. L'ensemble du terrain houiller comprend dans nos régions plus de 2.000 mètres et en Belgique près de 3.600 mètres <sup>(1)</sup> de sédiments formés surtout d'éléments détritiques (roches deutogènes), les roches sédimentaires organogènes (roches protogènes), formées presque uniquement de débris végétaux (houilles, Cannel-Coals, Bogheads), représentant en épaisseur une quotité quasi négligeable eu égard à la masse de l'ensemble. Une telle accumulation de débris détritiques suppose nécessairement la destruction d'une masse de roches considérable et l'érosion étant fonction du relief on se trouve dans la quasi obligation d'admettre que les aires continentales devaient présenter des escarpements assez importants.

Quant à la position exacte de ces escarpements par rapport aux bords de la lagune houillère, les caractères des roches stériles permettent de déterminer, d'une façon toute approximative, leur situation probable. Les schistes étant des sédiments fins, dont les éléments argileux ont pu flotter pendant très longtemps, ne donnent guère d'indication à ce sujet. Par contre, les conglomérats et les grès autorisent des déductions intéressantes invoquées déjà par divers auteurs dans le Bassin houiller du Nord de la France <sup>(2)</sup>.

Les conglomérats houillers contiennent parfois des éléments remaniés de telle taille <sup>(3)</sup> qu'ils ne peuvent guère provenir que d'éboulis sur des pentes assez raides.

Ils rappellent par leurs formes et leurs dimensions les blocs qui s'accumulent dans les cônes de déjection de certains torrents. Leur présence semble donc indiquer qu'au voisinage des points où on les trouve, l'escarpement était assez voisin de la rive du bassin d'alluvionnement. Les conglomérats formés de débris de dimensions plus modestes impliquent néanmoins des phénomènes de transport à faibles distances et conduisent, par conséquent, à une conclusion identique.

Les grès houillers sont fréquemment grossiers, ce sont parfois des arkoses, plus souvent des grès feldspathiques ou micacés. Or, la présence du feldspath dans un grès est considérée généralement comme une preuve que ses éléments n'ont pas subi un transport très prolongé, car dans le cas contraire les feldspaths disparaissent assez vite et se transforment en fines paillettes d'argile restant longtemps en suspension et ne se déposant que beaucoup plus loin dans la zone

(1) Voir A. RÉNIER [533], p. 736.

(2) Voir notamment : CH. BARROIS P. BERTRAND et P. PRUVOST, [32] et [33].

(3) Le galet de grès houiller provenant du conglomérat de Roucourt et exposé au Musée houiller de Lille pèse 2 tonnes et demie.

des boues argileuses. Les micas persistent beaucoup plus longtemps, mais disparaissent néanmoins quand les phénomènes de transport sont très importants. La fréquence des feldspaths dans les grès houillers semble donc bien indiquer que l'érosion devait souvent se produire à une distance peu considérable des lieux de dépôt aux dépens de massifs granitiques, comme l'ont montré SORBY et M. CH. BARROIS [29].

L'intensité des phénomènes d'érosion, fonction de l'énergie potentielle de l'eau, la nature des éléments stériles (gros éléments, fréquence des feldspaths dans les grès) démontrent que le relief des côtes de la lagune houillère devait être assez accentué et que les escarpements étaient parfois relativement proches de ces rives représentées par les zones marécageuses où croissaient les forêts carbonifères.

L'action des phénomènes d'érosion tendant à niveler le relief et les phénomènes de dépôt provoquant le comblement du bassin auraient dû, fatalement, entraîner tôt ou tard la réalisation d'un profil d'équilibre et l'arrêt ou du moins le ralentissement de la sédimentation, ce qui aurait conduit à la formation d'une seule série de roches comprenant des sédiments fins puis grossiers et le recul de la zone forestière marécageuse vers le large.

Or, comme je l'ai rappelé précédemment, la série houillère est caractérisée par la répétition fréquente des faciès qui prouve que sur la même verticale les conditions de dépôt ont varié avec le temps, mais se sont répétées semblables à elles-mêmes un plus ou moins grand nombre de fois. Tout ceci suppose de fréquentes oscillations du niveau de base des eaux de la lagune houillère, oscillations qui ramenaient périodiquement en un point donné ce niveau à des positions identiques.

De telles oscillations ne sont pas spéciales à l'époque houillère et se sont forcément produites chaque fois que l'on observe une formation sédimentaire de quelque puissance.

On ne peut expliquer de telles répétitions qu'en admettant, comme on le fait généralement<sup>(1)</sup>, qu'au fur et à mesure qu'il se comblait le bassin houiller s'affaissait lentement ou brusquement, cet affaissement ou *subsidence* étant provoqué par le poids des sédiments, par l'existence en profondeur de zones de moindre résistance ou par ces deux actions combinées.

Les résultats de ces subsidences étaient contrebalancés par la sédimentation, le niveau réel étant finalement, en un point, la résultante de ces deux phénomènes opposés.

Dans la formation d'une puissante série détritique comme la série houillère, l'action combinée de la sédimentation et des subsidences explique bien la répétition des faciès, mais semble insuffisante à elle seule pour rendre compte du rajeunissement du relief capable de permettre aux phénomènes d'érosion de conserver leur intensité. A la notion d'affaissement du bassin de sédimentation il faut donc ajouter celle, qui n'est au fond que sa contre partie, de l'érection des aires continentales.

La répétition des faciès s'expliquerait donc par l'enfoncement de l'aire synclinale du bassin de dépôt et le redressement simultané des aires continentales qui formaient ses rives, conception à laquelle l'étude du conglomérat de Roucourt amenait récemment MM. CH. BARROIS, P. BERTRAND et P. PRUVOST [32].

Comme nous le verrons plus loin, l'étude des veines de houille confirme l'opinion généralement admise que ce mouvement de balancement ou de bascule se reproduisait de façon fréquente

(1) Voir en particulier : PIERRE PRUVOST. — [496] et plus spécialement [498].

avec des périodes de paroxysme qui expliquent la superposition de roches très différentes telles que la houille et le grès.

Ces considérations semblent bien indiquer que dans certaines parties au moins de leur étendue, les escarpements qui constituaient les aires d'érosion intense étaient situés au voisinage des bords boisés de la lagune houillère ; circonstance qui conduit à admettre que la largeur de la zone de végétation était, en règle générale, assez faible.

D'après l'ensemble des observations qui ont été faites sur l'époque houillère par les nombreux chercheurs qui se sont occupés de cette question à différents points de vue, l'on peut résumer les caractères généraux de cette période géologique de la façon suivante :

Une érosion très intense d'aires continentales à relief très accentué a permis d'abord, grâce à une sédimentation active et à la formation de bancs ou de barres, l'établissement de dépressions côtières séparées de la pleine mer d'une façon plus ou moins complète.

Le comblement partiel de ces dépressions lagunaires permit le développement, à plus ou moins faibles distances des régions continentales à relief accusé, de zones basses marécageuses où les apports de substances minérales n'étaient plus guère réalisés que par les eaux de ruissellement.

Dans ces zones se développaient rapidement une végétation paludéenne composée surtout de cryptogames vasculaires à croissance très rapide et donnant naissance à des quantités prodigieuses de spores.

Un climat très chaud et très humide, des précipitations atmosphériques abondantes, un rajeunissement continu du relief par suite des phénomènes qui entraînaient le relèvement des aires continentales et l'affaissement des bassins de dépôt permirent à la fois la réalisation simultanée pendant des laps de temps considérables d'une sédimentation minérale et d'une sédimentation végétale particulièrement actives qui ont donné naissance aux roches stériles (r. minérogènes) et aux combustibles (roches organogènes) de cette époque si particulière de l'histoire de notre globe.

Telles sont très brièvement esquissées les conditions physiques générales qui ont présidé, à notre avis, à la genèse des différents types de sédiments houillers suivant un mécanisme que nous étudierons plus en détail dans le chapitre suivant.

---



## CHAPITRE VINGT-QUATRIÈME

**Modes de formation des divers types de sédiments houillers****Mécanisme de leur formation simultanée**

## PLANCHE C DU TEXTE

## SOMMAIRE

- I. — FORMATION DES ROCHES STÉRILES. — Genèse des conglomérats, des grès et des schistes.
- II. — FORMATION DES ROCHES COMBUSTIBLES. — A. *Genèse des Houilles (Roches combustibles terrigènes)*. — a. Formation des *lits élémentaires* de houille brillante, de houille semi-brillante et de houille mate et des accumulations de Fusain. — b. Formation des *différents types pétrographiques* de houilles. — B. *Genèse des Cannel-Coals (Roches combustibles mixtes)*. — C. *Genèse des Bogheads (Roches combustibles planctogènes)*.
- III. — FORMATION DES ROCHES MIXTES. — Genèse des schistes et grès bitumineux ou charbonneux.
- IV. — RÉPARTITION HORIZONTALE DES DIVERS TYPES DE SÉDIMENTS HOUILLERS.

Nous examinerons dans ce chapitre comment l'on peut envisager la formation simultanée des *roches stériles* (conglomérats, grès et schistes pauvres en débris végétaux), des *roches combustibles* (houilles, Cannel-Coals, Bogheads) et des *roches mixtes* (schistes ou grès bitumineux ou charbonneux) où peuvent coexister des proportions également importantes de débris organisés ou de substances végétales, d'une part, et de substances minérales, d'autre part.

## I

## FORMATION DES ROCHES STÉRILES

(*Schistes, grès, conglomérats*).

Ces roches qui dans la série houillère sont rarement exemptes d'éléments organiques, (*fragments* ou *parties* de végétaux ou *débris clastiques* provenant de la destruction de couches de roches combustibles préexistantes) *sont essentiellement des roches détritiques*.

Leurs éléments remaniés par les eaux ont été surtout transportés par les rivières et par les fleuves et déposés dans le voisinage de leur embouchure là où leurs eaux arrivant dans la lagune houillère perdaient rapidement leur vitesse et, par conséquent, la faculté de tenir en

suspension les éléments d'une certaine dimension <sup>(1)</sup>. Comme tous les cours d'eau qui se jettent dans des lacs ou des mers intérieures non soumises au balancement des marées, ils donnaient naissance à des deltas où s'accumulaient des couches plus ou moins inclinées, d'allure lenticulaire, constituées par des éléments de plus en plus fins à mesure qu'ils s'éloignaient de la terre ferme.

La nature des éléments minéraux charriés par les cours d'eau et déposés par eux dans le voisinage de leur embouchure variait suivant les régimes des fleuves ou des rivières ; ces régimes étant influencés par l'inclinaison de leur lit ou la somme et l'intensité des précipitations atmosphériques se traduisant par la réalisation de vitesse très différentes et l'entraînement d'éléments détritiques de dimensions très variables.

Les variations du niveau de base, qui dans certains cas rajeunissaient le cours des rivières et des fleuves, jointes aux phénomènes dus à l'évolution normale des cours d'eau et aux alternances de régimes de crue et d'étiage concouraient donc à produire dans le bassin des alternances de couches lenticulaires constituées par des sédiments plus ou moins grossiers allant des cailloutis aux vases argileuses en passant par les sables à grains variables.

C'est dans ces conditions que se sont formées les couches lenticulaires, dont l'épaisseur varie très rapidement, représentées le plus souvent dans notre bassin houiller par des grès grossiers (cuercelles, grès feldspathiques, arkoses) et dans les bassins houillers du centre de la France par des conglomérats (poudingues ou brèches) ; formations qui présentent les mêmes caractéristiques que celles que l'on observe dans les deltas marins ou lacustres.

Les boues argileuses fines se déposaient plus loin devant les sédiments précédents ou étaient entraînées par les courants parallèles aux rives et venaient s'accumuler dans certaines régions, là où la vitesse de l'eau étant amortie sa faculté de tenir en suspension même les fines particules minérales diminuait dans de fortes proportions. C'est ainsi que se sont individualisées les boues argileuses très fines qui se sont transformées par la suite en schistes à grains fins.

D'autre part, dans leurs stades de jeunesse les cours d'eau, dont les lits très courts présentaient de fortes pentes, étaient de véritables torrents charriant des blocs de grande dimension et donnant naissance à des cônes d'éboulis qui s'accumulaient aux pieds des escarpements sur des sédiments plus fins exondés depuis un certain temps. Parfois, ces escarpements à pentes assez raides se trouvaient assez rapprochés des rives de la lagune houillère et il est probable que certains blocs, atteignant des dimensions considérables, pouvaient par suite de la déclivité accentuée du sol et sous la seule action de la pesanteur gagner des points où ne se déposaient normalement que des sédiments très fins ou à grains moyens.

Lors des orages, les eaux de ruissellement abondantes et rapides acquièrent des facultés de transport appréciables et sont même capables de provoquer des phénomènes d'érosion. Étant donnés les caractères tropicaux et humides du climat les précipitations atmosphériques, et en particulier les orages, devaient être très fréquents et revêtir souvent les formes de véritables déluges. Dans ces conditions, les eaux sauvages pouvaient, au moins dans les périodes pluvieuses, déterminer une érosion intense des aires continentales et amener dans la lagune houillère des

(1) Le mécanisme de la sédimentation stérile a été bien étudié par FAYOL grâce à l'observation et à l'expérimentation. Il est exposé en détail dans les mémoires célèbres cités dans la liste bibliographique de ce mémoire [225, 226].

Plus récemment M. PAUL LECOMTE, Professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures a publié une synthèse remarquable de ces phénomènes [385].

quantités d'éléments détritiques plus ou moins fins (boues argileuses ou sables fins) qui bien que ne formant en un point donné que des épaisseurs très faibles, n'en constituaient pas moins des apports appréciables par suite de la grande étendue des surfaces qu'elles recouvraient.

## II

### FORMATION DES ROCHES COMBUSTIBLES

(*Houilles, Cannel-Coals, Pseudo-Cannel-Coals, Bogheads*)

Les roches organogènes houillères se subdivisent en trois séries nettement différentes.

1<sup>o</sup> — *Les roches combustibles terrigènes* <sup>(1)</sup>, où les corps figurés sont presque exclusivement des débris ou des parties des végétaux supérieurs qui peuplaient les forêts côtières marécageuses, forment la classe des *houilles proprement dites*.

2<sup>o</sup> — *Les roches combustibles mixtes* contenant surtout des *éléments terrigènes*, mais renfermant le plus souvent en quantités appréciables des *éléments planctogènes* caractéristiques de la série suivante. Ces roches mixtes comprennent les *Gayets*, terme utilisé dans nos Bassins houillers pour désigner en même temps les Cannel-Coals et les Pseudo-Cannel-Coals.

3<sup>o</sup> — *Les roches combustibles planctogènes* ne contenant plus qu'exceptionnellement des éléments organiques terrigènes et formées presque uniquement par accumulation de végétaux ou d'animaux microscopiques libres vivant à la surface des eaux de la lagune et constituant le *plancton*. Ces roches entrent dans la catégorie des *Bogheads* ou *charbons d'algues* et sont généralement confondues dans nos Bassins houillers avec les Cannel-Coals et les Pseudo-Cannel-Coals sous les dénominations génériques de *Gayets* <sup>(2)</sup>. Il est infiniment probable que certains Cannel-Coals anglais ou américains sont en réalité des *Bogheads*.

J'étudierai successivement les modes de formation de ces trois catégories de roches combustibles <sup>(3)</sup>.

(1) Le mot *terrigenè* est utilisé ici dans le sens employé par MURRAY et RENARD dans leur classification des sédiments et repris par M. L. CAYEUX en ce qui concerne les craies. — Bien que ne contenant normalement que de faibles proportions de minéraux d'origine déritique, les houilles sont des sédiments terrigènes au même titre que les boues et sables coralliens de MURRAY et RENARD, car leurs éléments essentiels sont des débris d'êtres vivants arrachés au rivage.

Consulter à ce sujet :

JOHN MURRAY et A. RENARD. — Notice sur la classification, le mode de formation et la distribution géographique des sédiments des mers profondes. *Bull. Musée royal d'Hist. Nat. de Belgique*, Vol. III, p. 25 à 63, Bruxelles, 1884. — Voir aussi : in CAYEUX. — *Ann. Soc. Géol. Nord*, T. XIX, p. 306 et 307, Lille, 1891.

(2) Toutes les roches des deux dernières séries couramment confondues sous le nom de « *gayets* » dans le bassin houiller du Nord de la France sont des sédiments à grain très fin, à cassure conchoïdale et d'une grande ténacité. Il est certain que beaucoup de *schistes bitumineux* pauvres en cendres devraient également être classés dans l'une de ces deux séries suivant la nature de leurs corps figurés dominants.

Dans le bassin houiller belge les roches de ce type sont également désignées par le terme « *gayet* », mais portent parfois les noms de *gaillet*, de *gallet*, de *croha* et de *briha*.

(3) Cette classification tripartite des roches combustibles qu'impose l'état de nos connaissances sur leur structure microscopique est toute différente de la classification bipartite de POTONNÉ.

Cette dernière, insuffisante en ce qui concerne les combustibles d'âge primaire, avait été établie alors qu'on igno-

## A

**Genèse des Houilles ou Roches combustibles terrigènes**

Comme il résulte des faits d'observation mis en évidence dans le livre premier de ce mémoire, les houilles du Nord de la France appartiennent surtout à deux types bien distincts très fréquents et à un troisième type plus rare.

$\alpha$  — *Les houilles de Cutine* où les corps figurés sont surtout représentés par des spores et des cuticules.

$\beta$  — *Les houilles ligno-cellulosiques* où les corps figurés consistent presque uniquement en débris de tissus lignifiés (bois ou sclérenchyme).

$\gamma$  — *Les houilles mixtes* riches en macrospores, en cuticules et en tissus ligneux, mais pauvres en microspores qui sont beaucoup plus rares que les deux types extrêmes  $\alpha$  et  $\beta$ .

L'étude microscopique montre, en outre, que dans ces grandes variétés de houilles les corps figurés végétaux étaient toujours de dimensions suffisamment faibles pour avoir pu dans tous les cas être transportés par les vents.

D'autre part, étant donnés leur petite taille et leur coefficient élevé de flottabilité, il est évident qu'ils étaient susceptibles de flotter ou d'être tenus en suspension dans l'eau plus longtemps que les particules d'argile les plus fines.

Dans ces conditions, les cellules et les organes reproducteurs des végétaux vivants (spores, grains de pollen, graines) et les menus débris de tissus ligneux provenant de la destruction totale ou partielle des plantes houillères étaient, en règle générale, emportés par les vents qui suivant leur direction les entraînaient vers le large ou vers les aires continentales. Ceux qui tombaient à découvert sur le sol aride ne tardaient pas à subir la destruction totale, les cellules et organes reproducteurs (spores, grains de pollen, graines), efficacement protégés par leurs membranes cutinisées ou par leur enveloppe sclérifiée, passant au préalable par une période de vie ralentie pendant laquelle ils étaient susceptibles, dans certaines conditions (inondation du sol, etc...), de germer et de donner naissance à de nouveaux individus. Au contraire, les débris végétaux transportés par les vents dans la direction du large s'épandaient d'abord à la surface des eaux où ils flottaient un certain temps, puis s'immergeaient lentement et restaient en suspension dans l'eau de la lagune. Entraînés peu à peu vers des régions plus profondes, ces débris s'accumulaient sur le fond en des points que n'atteignaient pas les sédiments minéraux.

Les débris de bois plus denses, plus volumineux et plus poreux se déposaient d'abord formant la boue végétale qui a donné naissance aux charbons ligno-cellulosiques, tandis que les spores, les feuilles et les cuticules douées de coefficients de flottabilité plus grands étaient entraînées plus loin donnant les accumulations considérables à partir desquelles se sont différenciées

rait presque tout de la structure microscopique des houilles proprement dites. Son acceptation nous obligerait aujourd'hui à répartir les différents types de combustibles dans les deux groupes suivants.

a — *Les sapropélites* ou *charbons sapropéliens* comprendraient les Bogheads, les Cannel-Coals, les Pseudo-Cannel-Coals et la majorité des houilles exploitées (charbons de cutine).

b — *Les charbons humiques* comprenant seulement les charbons ligno-cellulosiques.

Cette classification ne tient pas compte des caractères microscopiques de ces roches et serait trop artificielle.

les couches de charbons de Cutine (charbons de spores et charbons de cuticules) où les éléments ligneux, bien que toujours présents et parfois bien conservés, sont, en règle générale, relativement rares et très altérés.

La nature et le transport des éléments figurés des houilles ne peuvent plus être contestés, car leur origine et leur agencement dans ces roches combustibles sont mis en évidence par les microphotographies des planches I à LXVI qui accompagnent ce mémoire, microphotographies qui montrent nettement que la stratification des dites houilles atteint un degré de perfection rarement réalisé dans les autres roches. Je rappellerai simplement ici, pour mémoire, ce fait sur lequel j'ai insisté précédemment (Chapitre XXII<sup>e</sup>), que les corps organisés des houilles pouvaient consister en apports éoliens ou en dépôts de débris flottés en eau calme.

## a. — Formation des Constituants macroscopiques des houilles

### 1° — Genèse des lits de houille brillante (Vitrain).

Lorsque le précipité colloïdal se formait en l'absence de tout corps figuré, il constituait le seul apport de substance et s'individualisait sous forme de lits minces d'une certaine étendue provoquant l'appauvrissement de l'eau en substances dissoutes et l'arrêt de cette sédimentation chimique. Une nouvelle précipitation n'était possible qu'après une reconcentration en substances dissoutes qui demandait un certain temps pendant lequel de faibles apports de corps figurés pouvaient venir s'étaler à la surface des lits précédemment formés. C'est de cette façon que se sont individualisées par lits de houilles brillantes (Vitrain) successifs, beaucoup de nos houilles anthraciteuses où les couches de substance amorphe généralement peu épaisses (quelques millimètres) sont séparées de leurs voisines par des lits ou mieux des jonchées très minces de corps figurés représentés par des menus fragments de bois (Fusain ou tissus ligneux gélifiés). Ces jonchées peu importantes représentent l'apport de corps figurés pendant les laps de temps relativement longs au cours desquels ne se produisait aucune sédimentation chimique, tandis que les lits de houille amorphe se formaient par coagulation en des espaces de temps très courts durant lesquels les quantités de débris organisés répartis sur les aires de dépôt étaient pratiquement nulles.

C'est également de cette façon que se sont individualisés les minces lits de houille amorphe (houille brillante = Vitrain) interstratifiés au milieu des autres variétés de constituants macroscopiques des houilles. Ces lits de houille brillante représentent donc une *sédimentation purement chimique* par voie de précipitation de substances dissoutes en l'absence de tout corps figuré, tandis que les deux autres constituants complexes correspondaient à une *sédimentation mixte* comprenant la formation d'une pâte par précipitation chimique en présence d'apport de débris organisés par précipitation mécanique.

C'est ce mode de formation qui explique la faible épaisseur à peu près constante <sup>(1)</sup> de

(1) La plupart des lits de houille brillante (Vitrain) n'ont que quelques millimètres d'épaisseur, l'épaisseur la plus fréquente variant entre 4 et 5 mm. J'ai pu maintes fois observer que dans une houille donnée les lits de houille

tous les lits de houille brillante ainsi que leur répétition et leur superposition dans certaines houilles qui ne sont guère formées que par des empilements de tels lits. La précipitation des substances dissoutes qui se produisait en un espace de temps relativement court avait pour effet d'appauvrir la solution qui mettait, au contraire, un certain temps pour réaliser la nouvelle concentration capable de l'amener à saturation et de permettre une autre précipitation. Dans ces conditions, l'on comprend facilement que dans un point donné et dans certaines circonstances, les quantités de substances dissoutes susceptibles en saturant le solvant de provoquer une précipitation et la masse de substances coagulées capable d'amener la solution à un état de dilution suffisante pour permettre l'arrêt du phénomène devaient correspondre à des quantités sensiblement constantes.

C'est cette constance des masses précipitées et l'arrêt de la sédimentation chimique, pendant des laps de temps plus ou moins longs, qui expliquent la superposition dans certaines veines de houille de nombreux lits de houille amorphe (h. brillante = Vitrain), tous à peu près de même épaisseur et séparés les uns des autres par des lits extrêmement minces (une fraction de millimètre) de corps figurés étalés et déposés à la surface d'une couche précédemment formée.

La formation des lits de houille brillante se réalisait donc à des moments ou en des régions où l'apport de corps figurés était très lent et pratiquement nul dans les espaces de temps assez courts qui correspondaient à l'individualisation, par précipitation chimique, de ces lits constitués uniquement de la substance amorphe d'origine secondaire que j'ai désignée dans mes travaux précédents par le terme de substance fondamentale.

## 2<sup>o</sup> — Formation des lits de houille semi-brillante (Clarain).

La plupart des *houilles semi-brillantes* sont caractérisées, dans les différentes variétés de houilles, par la présence de corps figurés relativement peu nombreux enrobés dans une pâte abondante (Voir : Chapitre XV<sup>e</sup> p. 302, B).

Dans les points où se formaient des lits de houille semi-brillante, l'eau qui se trouvait en contact avec le fond de la lagune tenait en suspension des corps figurés et en solution des substances provenant de l'altération ou de la destruction des fragments de plantes. La précipitation de ces substances dissoutes se produisait alors que des débris organisés étaient en équilibre dans la masse liquide et de telle façon que ces débris végétaux précipités mécaniquement se sont trouvés enrobés dans une masse d'abord plastique occupant tous les espaces qui existaient entre eux au moment de la prise du gel colloïdal.

L'apport de substance nécessaire à l'édification de chaque lit de houille semi-brillante était plus considérable que celui qui a concouru à la formation de chaque lit de houille brillante, puisqu'il était constitué à la fois par une masse de substances dissoutes sensiblement égale, sinon supérieure <sup>(1)</sup>, et par des corps figurés en quantités appréciables. C'est cette circonstance qui explique qu'en règle générale les lits de houille semi-brillante (Clarain) sont toujours plus

amorphe superposés, séparés par de très minces lits de fusain, présentent tous à peu près la même épaisseur ; caractère qui indique bien qu'ils résultent de phénomènes successifs de même intensité.

Ces lits ont été décrits dans le chapitre XV<sup>e</sup>, p. 305 à 309.

(1) Les quantités de substances dissoutes devaient croître proportionnellement par rapport à celles des corps figurés.

épais que les lits de houille brillante (Vitrain), fait qu'avait déjà signalé M<sup>me</sup> STOPES dans son premier mémoire sur les constituants macroscopiques des houilles.

### 3<sup>o</sup> — Formation des lits de houille mate (Durain)

Nous avons vu (Chapitre XV<sup>e</sup>, p. 299, B) que ce constituant macroscopique n'existe guère dans notre bassin houiller que parmi les charbons à hautes teneurs en matières volatiles entrant dans la catégorie des charbons de cutine. C'est cette particularité qui m'avait amené au début de mes recherches à considérer le terme de Durain comme synonyme de charbon de spores. <sup>(1)</sup> Jusqu'ici je n'ai jamais rencontré de houilles mates typiques dans les autres variétés de houilles de nos régions.

Nous avons vu également que les houilles mates sont caractérisées par la prédominance des corps figurés dont la masse totale l'emporte nettement sur celle du ciment amorphe.

La structure de ces houilles montre que la pâte colloïdale est venue faire prise entre les corps figurés, en l'espèce entre les spores et les cuticules, alors que ces débris organisés étaient encore en suspension et se déplaçaient lentement dans les eaux de la lagune. Cette prise a fossilisé, en quelque sorte, les espaces qui existaient entre eux, caractère qui explique pourquoi les corps figurés ne se touchent pas et qu'ils ne sont que très rarement empilés les uns sur les autres ; la précipitation de la pâte colloïdale qui les a enrobés ayant déterminé leur conservation dans la position qu'ils occupaient au moment précis de la coagulation du gel fixateur.

Si l'on admet, ce qui est logique, que les quantités de substances dissoutes étaient sensiblement proportionnelles aux masses de corps figurés en présence <sup>(2)</sup>, alors que la quantité de substance précipitée capable d'entraîner à un moment donné l'arrêt par dilution des phénomènes de précipitation restait à peu près constante, on arrive à cette conclusion que là où se formaient les lits de houilles mates les espaces de temps nécessaires pour amener, à nouveau, la saturation de la solution humique devaient être beaucoup plus courts que là où se déposaient les lits de houille semi-brillante et surtout les lits de houille brillante.

D'autre part, là où se sont formées les houilles mates la quantité sensiblement constante de substances précipitées enrobait une masse de débris organisés beaucoup plus grande que dans le cas des houilles semi-brillantes, de sorte que les lits riches en corps figurés étaient plus épais que les lits moins riches. C'est ce que démontre l'observation qui met en évidence que les lits de houille mate sont, en règle générale, beaucoup plus importants que les lits de houille semi-brillante, ces derniers étant eux-mêmes plus épais que les lits de houille brillante.

### 4<sup>o</sup> — Formation des lits de Fusain (houille mate fibreuse).

Comme il a été dit plus haut <sup>(3)</sup>, le Fusain est plutôt l'équivalent de certains corps figurés que celui des autres constituants des houilles dont il vient d'être question. On le ren-

(1) A. Duparque. — [180] et [188].

(2) Les substances dissoutes devaient provenir, au moins en partie, de l'altération des corps figurés ou des tissus plus attaquables qui les accompagnaient.

(3) Voir : Chapitre XV<sup>e</sup> p. 295 à 297.

contre le plus fréquemment disséminé dans les houilles semi-brillantes (Clarains) et plus rarement dans les houilles mates (Durains) où il se présente dans les mêmes conditions de gisement que les spores, les cuticules, les corps résineux et d'autres débris de tissus ligneux gélifiés.

Ce sont, le plus souvent, de minces pellicules formées par de menus débris de Fusain qui soulignent les limites des différents lits de houille brillante superposés dans certaines houilles anthraciteuses. Plus rarement, il forme des lits assez épais atteignant exceptionnellement quelques centimètres d'épaisseur.

Les lits très minces ou assez épais sont toujours constitués par des menus débris de Fusain placés côte à côte ou empilés les uns sur les autres, les fragments voisins montrant généralement des structures différentes ou des orientations diverses ; caractères attestant que ces lits de Fusain assez épais ne dérivent pas d'une masse ligneuse unique.

Dans les lits de Fusain d'une certaine épaisseur la pâte colloïdale de la houille n'existe pour ainsi dire pas et est pratiquement négligeable. Elle forme parfois des filets brillants soulignant les limites respectives des masses ligneuses accolées.

Dans ces deux modes de gisement particuliers (minces lits séparant les couches de houille brillante superposées des houilles anthraciteuses, lits épais de Fusain pouvant être rencontrés dans toutes les variétés de houilles) les débris de tissus ligneux transformés en houille mate fibreuse se sont déposés à des moments où la précipitation des substances dissoutes, génératrice du ciment de la houille, était à peu près ou complètement nulle.

Dans les houilles anthraciteuses ceci résulte du fait que les menus débris de Fusain sont étalés à la surface d'un lit de houille brillante (Vitrain) et recouverts par le suivant, ils représentent *l'apport de corps figurés lent et peu abondant* au cours des périodes assez longues où la solution humique se concentrait pour permettre le dépôt, dans un espace de temps relativement court, de la couche de houille amorphe suivante.

Au contraire, les lits continus et épais de Fusain correspondent à des moments où l'apport de tissus ligneux était considérable, la formation de houille amorphe (pâte) par précipitation étant nulle ou peu importante. L'absence d'individualisation de houille amorphe dans de telles circonstances où la sédimentation de débris végétaux était relativement active s'explique facilement par les deux faits d'observation suivants et par leur coordination. Comme l'avait déjà fait remarquer FAYOL, le Fusain présente toujours les caractères des houilles anthraciteuses, en particulier de faibles teneurs en matières volatiles et l'absence totale de pouvoir agglutinant. D'autre part, comme je l'ai montré précédemment [202] il conserve ces mêmes caractères dans toutes les variétés de houille, des houilles maigres anthraciteuses aux houilles les plus riches en matières volatiles. Ce dernier fait indique bien qu'au moment de leur dépôt les fragments de Fusain possédaient déjà leurs caractères propres puisqu'ils se retrouvent identiques au milieu de houilles différentes, ces caractères propres étant l'évolution très accentuée du constituant transformé, déjà, en substance pauvre en matières volatiles <sup>(1)</sup>.

Or, si l'on admet que les corps organiques en solution qui donnaient naissance par pré-

(1) Dans un développement ultérieur j'expliquerai cette transformation rapide des fragments de tissus ligneux du Fusain en même temps que leur morcellement accentué.



cipitation à la pâte des houilles dérivait, au moins en majeure partie, des matières végétales moins résistantes associées aux tissus fossilisés sous forme de corps figurés et de l'altération partielle de ces derniers, l'on comprend facilement que les tissus transformés en Fusain, ayant subi des oxydations accentuées et devenus réfractaires à toute hydrolyse, n'étaient plus susceptibles en se modifiant de donner les quantités de substances dissoutes suffisantes pour permettre la saturation de la solution et la coagulation de la pâte. C'est dans ces conditions que se sont déposés les lits de Fusain à peu près purs que l'on rencontre assez rarement dans toutes les variétés de houille, lits qui peuvent seuls être comparés aux couches de houilles brillantes (Vitains), semi-brillantes (Clairains) et mates (Durains).

Au contraire, dans sa forme la plus générale de masses ligneuses lenticulaires interstratifiées dans les autres constituants macroscopiques des houilles, les fragments de Fusain, même de grandes tailles, doivent plutôt être considérés comme des équivalents des autres corps figurés (masses ligneuses gélifiées, cuticules, exines de spores, corps résineux).

En résumé, la formation des lits élémentaires des houilles ou constituants macroscopiques s'explique très facilement *par le seul jeu des lois de la sédimentation* qui s'appliquent aussi bien aux roches combustibles qu'aux roches minérogènes.

Tous ces constituants résultent de l'action combinée ou séparée de deux modes de sédimentation en des lieux qu'atteignaient seuls les solutions organiques et les débris végétaux que l'on retrouve dans les houilles.

En ces lieux, l'eau de la lagune houillère pouvait contenir à la fois *— en suspension — des débris organisés d'origine végétale et — en solution — des substances organiques* provenant, en partie, de l'altération de ces corps figurés, mais individualisées surtout au cours de la destruction d'autres débris végétaux et capables d'avoir subi à l'état dissous des transports plus ou moins longs.

Les quantités respectives de ces deux types de substances véhiculées par les eaux de la lagune houillère pouvaient être différentes suivant les points considérés et varier en un même point avec le temps, caractères qui expliquent le passage latéral des constituants les uns aux autres et leur superposition.

Là où les quantités de substances dissoutes étaient relativement considérables et l'apport de corps figurés presque nul, la précipitation des solutions alternativement saturées et diluées donnait naissance *par sédimentation d'ordre purement chimique* à des lits superposés de *houille brillante* (Vitain), lits généralement minces qui s'individualisaient et prenaient une consistance gélatineuse dans un espace de temps assez court. L'apport de corps figurés peu abondant et lent n'a alors donné de dépôts appréciables que pendant les intervalles assez longs qui séparaient la coagulation de deux lits de houille amorphe successifs. C'est ainsi que se sont formés les minces lits de spores ou de tissus ligneux séparant les lits de houille brillante et dont l'épaisseur est souvent de l'ordre d'une fraction de millimètre. Au cours de la coagulation de la substance colloïdale sans structure, l'apport de corps figurés était pratiquement nul et se réduisait à quelques débris que l'on rencontre accidentellement dans la masse des lits de houille brillante.

Lorsque les fragments de plantes amenés sur les aires de dépôt devenaient assez nombreux et se renouvelaient assez rapidement, les quantités de substances dissoutes étaient

plus importantes puisqu'elles dérivait, en partie, de l'altération des corps figurés et des tissus associés. Lors de leur précipitation qui devait être plus fréquente, la saturation de la solution devenant plus rapide, elles enrobaient des quantités appréciables de débris végétaux qu'elles figeaient, en quelque sorte, dans la position qu'ils occupaient dans l'eau où ils se déplaçaient lentement. Ainsi s'explique la disposition fluidale et les espaces importants qui séparent les corps figurés des lits de *houille semi-brillante* (Clarain) caractérisés par l'abondance de leur pâte contenant, néanmoins, de nombreux fossiles végétaux. Les lits de *houille semi-brillante* ont donc au point de vue sédimentaire une *origine mixte* puisqu'ils sont formés par apport de débris organisés (sédimentation mécanique) et par précipitation de substances dissoutes (sédimentation chimique), les deux phénomènes mécanique et chimique ayant tendance à s'équilibrer, mais le deuxième pouvant l'emporter sur le premier.

Lorsque, au contraire, l'apport de débris végétaux organisés plus rapide et plus abondant dépassait largement la proportion précédente (50 %), le gel ou ciment colloïdal a enrobé de grandes quantités de corps figurés et il s'est formé des lits de *houille mate* (Durain), sédiments mixtes où la proportion de débris végétaux (sédimentation mécanique) l'emporte nettement en volume sur la masse de la pâte colloïdale (sédimentation chimique).

Enfin, lorsque les quantités de substances dissoutes peu abondantes ne permettaient la formation de houille amorphe ou de pâte qu'à certains moments assez éloignés, les débris végétaux pouvaient pendant ces intervalles s'accumuler sur le fond et constituer, à eux seuls, des lits de *houille mate* dépourvus de tout éclat. C'est de cette façon que se sont individualisés les minces lits de spores ou de Fusain intercalés entre les couches de houille brillante et semi-brillante, les lits épais de Fusain que l'on rencontre assez rarement dans toutes les variétés de houilles et les couches formées presque exclusivement de spores que j'ai décrites dans l'une de mes premières notes <sup>(1)</sup> couches qui appartiennent à une catégorie de lits mats *beaucoup moins fréquents* que ceux où la pâte est assez bien développée.

En règle générale, l'on peut donc dire que les caractères essentiels des différents constituants (éclats plus ou moins vifs ou absence d'éclats) sont conditionnés par les quantités respectives de pâte et de corps figurés en présence, quantités qui indiquent quelles étaient les conditions de sédimentation au moment de leur dépôt. L'absence de corps figurés et l'existence presque exclusive du ciment provoquaient la formation des houilles brillantes (Vitrais), la prédominance du ciment sur la masse des corps figurés, celle de houilles semi-brillantes (Clarains), l'extrême abondance de corps figurés et la réduction du ciment déterminaient au contraire la genèse des houilles mates (Durains).

Ce critérium n'est pas absolu, la nature des corps figurés jouant aussi un rôle assez important (Chapitre XV<sup>e</sup>, p. 302, B). Seule l'abondance des spores et des cuticules donne naissance à de véritables *houilles mates compactes* (Durains). Les tissus ligneux ne confèrent aux lits qui les renferment en abondance le caractère de *houille mate fibreuse* que lorsqu'ils sont à l'état de *Fusain*. Quand ils sont plus ou moins gélifiés, les lits qui les renferment en grandes quantités gardent néanmoins un éclat plus ou moins vif, ils *doivent être rangés dans la catégorie des houilles semi-brillantes* et peuvent même être parfois confondus avec les *houilles brillantes*, les corps figurés n'étant visibles qu'au microscope.

(1) Ce sont ces houilles constituées par un feutrage de spores que j'ai désignées par le terme de spore-coal. Voir en particulier la note [182].

Ce mode de formation explique bien des faits d'observation courante dont les principaux sont les suivants :

1° La faible épaisseur des lits de houille brillante (Vitrain), l'épaisseur plus forte des lits de houille semi-brillante (Clarain) et l'importance plus considérable que présentent fréquemment les lits de houille mate (Durain) ; l'abondance des corps figurés indiquant une sédimentation plus active et permettant une saturation plus rapide de la solution. La quantité de substances précipitées nécessaire pour entraîner la dilution de la solution et l'arrêt du phénomène devant être sensiblement constante, on comprend facilement que les lits étaient d'autant plus épais que la solution saturée contenait des quantités plus importantes de débris organisés.

2° L'existence de toutes les formes de passage entre les différents constituants complexes et le passage latéral de l'un à l'autre par appauvrissement ou enrichissement en débris organisés, les conditions de sédimentation variant d'un point à un autre.

3° L'existence dans toutes les couches de houille de lits superposés appartenant aux différents constituants macroscopiques s'explique par le fait qu'en un même point du fond de la lagune houillère ces mêmes conditions de sédimentation variaient constamment avec le temps.

4° Les analogies de composition chimique existant entre la pâte et les corps figurés associés, ou ce qui revient au même entre les lits riches en corps figurés et les lits contigus pauvres ou privés de débris végétaux, s'expliquent également par le fait que la composition chimique des substances dissoutes était toujours en relation avec celle des débris organisés.

La théorie de la formation des houilles par transport de leurs éléments dans les eaux de la lagune houillère explique bien la formation des différents constituants macroscopiques des charbons, elle permet de substituer des notions très simples - toujours d'accord avec de nombreux faits d'observation - aux hypothèses des partisans de la théorie autochtone concernant la genèse des différents lits des veines de houille.

## **b. — Formation des différents types lithologiques de houilles**

Nous avons vu précédemment (Livre premier, Troisième partie), que la plupart des houilles du Nord de la France peuvent être classées dans deux grands groupes lithologiques se subdivisant eux-mêmes en deux sous-groupes dont la distinction présente des intérêts d'ordres différents, un très petit nombre d'entre elles appartenant à un troisième groupe beaucoup moins fréquent que les deux autres. L'on peut ainsi distinguer :

1° — Les *houilles de Cutine* comprenant les « houilles de spores » et les « houilles de cuticules » qui peuvent être chimiquement identiques.

2° — Les *houilles ligno-cellulosiques* se subdivisant en deux types lithologiquement et chimiquement distincts :

a. — Les *houilles ligneuses* riches à la fois en débris ligneux et en ciment amorphe.

b. — Les *houilles cellulosiques* très riches en ciment amorphe et normalement pauvres en débris ligneux.

3° — Les *houilles mixtes* qui représentent un type rare et en quelque sorte sporadique.

Les trois types fréquents de houilles (h. de cutine, h. ligneuses, h. cellulosiques) diffèrent non seulement par la nature ou les états d'altération des débris organisés qu'ils renferment <sup>(1)</sup>, mais encore par les compositions chimiques de leur ciment amorphe <sup>(2)</sup>.

Si l'on accepte la théorie de la formation de la houille par transport qui a été exposée dans le chapitre précédent, la genèse de ces types lithologiques de houilles s'explique très simplement, exactement de la même façon que celle des lits élémentaires, *par le jeu normal des lois de la sédimentation* qui régissent les modes de formation de toutes les roches sédimentaires. J'étudierai successivement les mécanismes du classement et de la répartition sur les aires de dépôt des débris organisés et des substances dissoutes.

### 1° — Classement des débris végétaux des houilles.

Nous avons vu précédemment (Chapitre XXII<sup>e</sup>) qu'étant donnée leur nature *tous les corps figurés des houilles ont pu subir à l'origine un transport par les vents*.

Or, l'on sait que le fluide atmosphérique agit exactement comme l'eau et opère un classement méthodique des éléments qu'il transporte, les corps les plus lourds et les plus volumineux tombant les premiers, tandis que les corps les plus légers et les plus petits sont entraînés plus loin.

Dans le cas des houilles, il est évident que les spores très légères et de très petites dimensions, d'une part, et les feuilles en forme de lames aplaties, d'autre part, devaient être, en règle générale, entraînées beaucoup plus loin que les débris de bois plus denses et moins favorisés par leurs formes <sup>(3)</sup>; de sorte que ces derniers tombaient à la surface de l'eau de la lagune beaucoup plus vite que les premiers et qu'il s'en suivait *un premier classement des débris organisés*.

Une fois tombés à la surface de l'eau de la lagune houillère les débris organiques, après avoir flotté plus ou moins longtemps, s'immergeaient lentement et étaient entraînés par les courants lents qui, même en l'absence de toute autre cause, existaient certainement par le seul fait des différences de concentration en substances dissoutes des eaux de la dite lagune. Ici encore la durée du *flottage* et la vitesse de *l'immersion* variaient avec la nature des débris végétaux, les phénomènes de tensions superficielles leur conférant des coefficients de flottabilité très différents.

Les spores par leurs *petites tailles*, leurs *formes discoïdes* et leur *légereté*, les feuilles par leur *disposition en lames* à grandes surfaces portantes se trouvaient en contact avec l'eau suivant une *enveloppe imperméable de cutine*; caractères qui leur assuraient un coefficient de flottabilité élevé <sup>(4)</sup>.

(1) Voir en plus des chapitres XVIII et XIX les chapitres V à VII.

(2) Consulter à ce sujet les chapitres VIII, XV et le début du présent chapitre (XXIV) où cette question est envisagée à différents points de vue.

(3) Il est vraisemblable que lors de l'action des agents éoliens, la nature de la substance et les caractères des surfaces en contact avec le fluide transporteur jouaient un certain rôle dans les phénomènes de transport.

(4) Les substances cireuses qui recouvraient extérieurement la cutine des spores et des cuticules devaient jouer

Les appareils sécréteurs constitués par des résines, substances *légères et non miscibles à l'eau*, devaient présenter des coefficients de flottabilité très voisins de ceux des spores et des cuticules.

Au contraire, les fragments de tissus ligneux *plus volumineux, plus denses et plus poreux* que les corps précédents étaient constitués par des substances telles que la lignine, la cellulose les pectoses capables de *s'imprégner d'eau et de se gélifier facilement*; toutes propriétés qui leur conféraient des coefficients de flottabilité beaucoup plus faibles que ceux des autres corps figurés.

Dans ces conditions, l'on comprend facilement que les corps figurés du premier type (spores, cuticules, corps résineux), favorisés *par leurs formes et par la nature de leur substance* en contact avec l'eau, *pouvaient se maintenir à la surface de cette dernière pendant plus longtemps et s'immerger plus lentement* que les débris organisés du deuxième type (fragments de bois ou de sclérenchyme). Ces circonstances leur permettaient de subir pendant des espaces de temps plus importants l'action des courants lents qui, en plus des causes habituelles, devaient forcément résulter des différences de concentration en substances dissoutes que présentaient en des points assez voisins les eaux de la lagune houillère.

Ce classement rigoureux des débris végétaux des houilles pouvait être d'autant plus parfait que les questions de dimensions, de formes, de densité et de porosité n'étaient pas les seuls facteurs qui intervenaient dans les phénomènes de précipitation mécanique qui se déroulaient au sein des eaux de la lagune houillère.

Les *phénomènes de tensions superficielles* expliquant certains résultats, en apparence aberrants, obtenus dans les procédés industriels de flottation qui permettent de faire surnager des substances lourdes (minerais) et de déterminer l'immersion de substances plus légères (gangue minérale)<sup>(1)</sup> *ont joué dans le classement des débris végétaux des houilles des rôles importants.*

La *cutine* des exines de spores et des cuticules des feuilles des plantes houillères *était une substance cirreuse, imperméable, s'imbibant difficilement d'eau*, qui a permis à ces débris végétaux de flotter à la surface de l'eau et de s'immerger beaucoup plus lentement que les fragments de tissus ligneux poreux et ne présentant pas les mêmes propriétés quant au mode de contact de leur surface propre avec le fluide transporteur.

Dans ces conditions, *par le seul jeu des phénomènes de précipitation mécanique* les deux grands types de débris végétaux n'arrivaient dans le voisinage du fond de la lagune houillère — là où s'individualisaient par précipitation chimique les gels fixateurs qui ont donné par durcissement les ciments colloïdaux — *qu'en des points très différents* qui correspondent respectivement aux lieux de dépôt des houilles de cutine et des houilles ligno-cellulosiques, ces dernières représentant un faciès moins profond que les premières qui sont apparentées au Cannel-Coals.

Le mécanisme du classement des débris organisés des houilles se trouve schématisé par la figure de la planche C du texte.

un rôle identique à celui de la pellicule d'huile qui forme un enduit à la surface des grains de minerais dans les procédés de flottation. En augmentant les phénomènes de tension superficielle elle permettait à ces organes de flotter pendant très longtemps.

(1) Sans entrer ici dans le détail du mécanisme des phénomènes de flottation, l'on peut admettre que les grains de minerais très denses qui ne se laissent pas mouiller par l'eau et qui s'imbibent d'huile sont rejetés par l'élément liquide, tandis que les grains minéraux de la gangue moins denses, mais mouillés par l'eau, s'immergent rapidement.

Dans le cas du flottage des houilles cendreuses c'est au contraire l'élément le plus léger (houille pure), ne se laissant pas imbiber d'eau, qui surnage dans l'écume flottant à la surface du liquide. Pour la même raison que dans le cas des minerais, la gangue pierreuse reste comme résidu.

Cette manière de voir se trouve confirmée par l'existence des houilles mixtes où les éléments les plus facilement transportables, les microspores, font défaut alors que se trouvent réunies les macrospores et les cuticules des houilles de cutine, d'une part, et les débris de tissus ligneux bien conservés des houilles ligneuses, d'autre part. Ce mode de sélection indique clairement que les zones de sédimentation de ces houilles mixtes devaient se trouver placées entre les régions où s'accumulaient les dépôts générateurs des deux grands types lithologiques de houilles.

Il ne paraît pas douteux que dans l'ensemble des phénomènes, le classement des spores et des cuticules dans les houilles de cutine et des débris ligneux abondants dans les houilles ligno-cellulosiques était dû surtout et principalement au jeu de la précipitation mécanique de ces débris organisés. Néanmoins, l'absence de spores et de cuticules dans les charbons ligno-cellulosiques n'implique pas, à mon avis, que ces organites ne se déposaient pas sur les aires de dépôt de cette variété de houille. Cette absence signifie simplement, selon moi, que ces spores et ces cuticules si elles se déposaient *étaient toujours en très petites quantités et subissaient la destruction totale* par suite du *déséquilibre biologique* existant entre les dites quantités et la grande masse d'organismes destructeurs capables de transformer les substances cutinisées en produits solubles. Cette manière de voir se trouve vérifiée dans les houilles mixtes (Pl. VII, Fig. 30) où les macrospores et les cuticules sont plus altérées que dans les charbons de spores ou de cuticules.

De même, la rareté relative et la gélification accentuée des tissus ligneux des houilles de cutine ne sont pas seulement imputables à la longueur des phénomènes de transports qu'ils ont subis. La destruction ou l'altération de ces débris de bois ou de sclérenchyme doivent être attribuées, en partie, à *un autre déséquilibre biologique* entre les faibles quantités de substances ligneuses et les masses considérables d'organismes destructeurs susceptibles d'amener leur désintégration totale ou leur gélification.

Les déséquilibres biologiques dont il vient d'être question n'étaient du reste rendus possibles que par le classement sélectif qui s'effectuait au cours des phénomènes de transport, classement qui déterminait la raréfaction des débris de l'un ou l'autre type en des points différents; de sorte qu'en dernière analyse cette sélection d'ordre chimique, beaucoup moins importante que la sélection mécanique, n'était en définitive que la conséquence de cette dernière.

En résumé, le classement des débris organisés dans les grands types lithologiques de houilles s'explique très simplement *par le seul jeu des grandes lois de la sédimentation* qui régissent le mode de formation de toutes les autres roches sédimentaires.

## 2° — Genèse des différents types de ciments amorphes.

Étant donné le caractère transporté des débris organisés des houilles, il devient évident que les ciments colloïdaux (pâte ou substance fondamentale) qui les enrobe se sont différenciés également à partir de substances transportées à l'état dissous dans les eaux de la lagune houillère. Il convient donc de se demander, en premier lieu, si un tel transport a pu réellement s'effectuer et si des exemples observés dans la nature actuelle permettent d'envisager sa possibilité.

α. — TRANSPORT DES SUBSTANCES MINÉRALES OU ORGANIQUES DISSOUTES  
DANS LA NATURE ACTUELLE.

C'est un fait d'observation général dans la nature actuelle que les eaux transportent à côté des débris clastiques de toutes tailles des *quantités considérables de substances dissoutes* qui se déposent dans certaines conditions. Les quantités de substances ainsi transportées en solution dépassent fréquemment celles véhiculées à l'état solide. C'est ainsi que d'après F. RINNE <sup>(1)</sup>, le Danube fait passer à Vienne en une seule journée *25.000 tonnes de substances dissoutes* et seulement 15.000 tonnes de vase. D'après ce même auteur, les fleuves apportent chaque année à l'océan *926 millions de tonnes de carbonate de chaux en dissolution*.

Le transport des substances minérales en solutions dans l'eau est donc un fait d'observation journalier. Bien qu'étant plus rare et d'importance plus modeste, le transport à l'état dissous des substances organiques est réalisé assez fréquemment. Les roches connues sous le nom d'« *Alios* » ou de « *Orstein* » ([84], p. 563) résultent de la cimentation des éléments du sol, principalement des sables, par une pâte humique et ferrugineuse. Cette pâte colloïdale résulte de la précipitation de substances transportées à l'état de solution et provenant surtout du lessivage d'humus et de sols de végétation.

Dans les tourbières actuelles l'on observe assez fréquemment des lits plus ou moins épais, d'un véritable alios humique, constitués par une substance amorphe, colloïdale sans trace de structure désignée par le nom de *Dopplérite* et considérée par les partisans de la formation sur place comme résultant du transport de substances végétales dissoutes qui se sont précipitées à l'état colloïdal sur le sol tourbeux. La dopplérite se rencontre en lits assez minces dont l'analogie avec les lits de houille brillante (Vitrain = houille brillante amorphe) est frappante <sup>(2)</sup>.

Le transport des substances végétales dissoutes est donc un fait d'observation assez fréquent dans la nature actuelle.

Dans ces conditions, étant donnés l'importance et le développement exceptionnels de la flore houillère, mis du reste en évidence par les accumulations considérables de spores et de débris de tissus ligneux, la mise en solution et le transport à cet état des masses considérables de substances organiques qui ont donné naissance aux pâtes colloïdales des houilles apparaissent comme des phénomènes normaux et, en quelque sorte, comme les corollaires obligatoires de la luxuriance de la végétation.

L'existence de nombreux lits très minces de houille brillante amorphe (Vitrain) montre que des lits d'alios humique, extrêmement pauvres en débris minéraux clastiques, provenant de la précipitation de substances végétales dissoutes et véhiculées par les eaux, se déposaient avec une fréquence en rapport avec le développement considérable de la flore et ont joué dans la genèse des charbons un rôle autrement important que celui des lits de dopplérite dans nos tourbières.

Nous avons vu précédemment que cette substance amorphe forme non seulement le ciment des lits hétérogènes (houilles mates et houilles semi-brillantes), mais constitue à elle seule toute la masse de certains lits (houille brillante = Vitrain) (Voir Livre premier, Chapitre XV<sup>e</sup>, p.

(1) Voir : L. BERTRAND, [84], p. 408 et 416.

(2) Cette analogie avait déjà été signalée par M<sup>me</sup> STOPES. [609].

299 à 309). Nous avons vu également (Chapitre VIII<sup>e</sup>, p. 166 à 170) que la composition chimique de ces substances amorphes n'est pas constante et varie dans chaque type lithologique de charbon, cette composition chimique étant liée à la nature des débris organisés. J'ai montré que ces variations s'expliquent par la grande diversité des substances végétales qui, par leur destruction ou leur altération lente au cours des phénomènes de transport, ont donné naissance aux solutions ou aux pseudo-solutions colloïdales à partir desquelles se sont différenciés des gels ; gels qui en enrobant les fragments végétaux ont donné à chacun des lits élémentaires des houilles leur individualité propre. Je n'insisterai ici que sur quelques points de façon à compléter ce qui a été dit plus haut.

### β. — ORIGINES MULTIPLES DES CIMENTS OU PÂTES DES HOUILLES.

La mise en solution ou en pseudo-solution des substances dissoutes commençant au cours des phénomènes de transport, l'on comprend pourquoi les solutions colloïdales qui ont donné naissance aux ciments des houilles de cutine étaient chimiquement très différentes de celles à partir desquelles se sont formées les pâtes des houilles ligno-cellulosiques. Dans ces conditions, il est en effet évident que dans le premier cas les eaux tenant en suspension des spores et des feuilles se chargeaient surtout des produits d'altération ou de destruction des noyaux, du protoplasme et des substances de réserve des cellules vivantes, de la chlorophylle et de la xanthophylle des feuilles ; tandis que dans le deuxième cas la solution ou la pseudo-solution végétale provenait presque exclusivement de la désorganisation et de la décomposition des tissus celluloseux des organes ligneux.

La formation des divers types de ciments amorphes colloïdaux n'apparaît donc plus que comme le corollaire obligatoire des phénomènes de transport des débris organisés.

Ces substances dissoutes constitutives des ciments ou des lits de houille amorphes pouvaient encore provenir, en partie, des produits de dissolutions résultant du lessivage par les eaux de ruissellement de l'humus de certains sols exondés <sup>(1)</sup> ou de l'activité d'êtres vivants dont les organisations étaient telles que dépourvus de parties squelettiques ils n'ont laissé dans les houilles aucun vestige de leur existence.

Sur ce dernier point un fait aujourd'hui acquis, grâce à l'étude microscopique des houilles, est que contrairement à une opinion maintes fois exprimée, les animaux à organisation assez avancée tels que les poissons, les mollusques, les crustacés n'ont joué aucun rôle dans la formation des houilles paléozoïques qui ont été étudiées jusqu'ici ; car alors que j'ai retrouvé leurs restes fossilisés dans certains gayets (Cannel-Coals, Pseudo-Cannel-Coals, Bogheads) du Nord de la France et qu'avant moi C. EG. BERTRAND et B. RENAULT ont signalé, décrit et figuré ces mêmes restes dans des combustibles spéciaux similaires d'origines très diverses, *je n'en ai jamais trouvé la moindre trace dans les houilles proprement dites* <sup>(2)</sup>.

Par contre, il est probable que de nombreux animaux inférieurs, appartenant au groupe des protozoaires, tels que les infusoires ou les bactéries ont pu contribuer après leur mort à

(1) Cette fraction correspondrait aux « eaux brunes » de C. EG. BERTRAND.

(2) Ce fait semble indiquer que là où se déposaient les alluvions végétales génératrices des couches de houilles, les eaux de la lagune houillère fortement chargées de substances organiques dissoutes, et en particulier des gaz nocifs provenant de leur décomposition, devenaient inhabitables pour les animaux à organisation élevée.



l'apport de substances dissoutes. En effet, alors que les animaux supérieurs incapables de vivre dans des eaux riches en débris végétaux et en produits de décomposition n'y pénétraient qu'accidentellement, les infusoires y trouvaient, au contraire, un milieu particulièrement propice à leur développement et à leur multiplication rapide ; milieu se rapprochant beaucoup de celui que l'on réalise au laboratoire lorsque l'on veut obtenir d'abondantes cultures de ces animaux unicellulaires. Ces êtres microscopiques devaient former à la surface des eaux de la lagune houillère un *plancton* particulièrement riche et abondant qui a pu contribuer, dans une certaine mesure, à la genèse des solutions puis des gels colloïdaux qui sont devenus les points de départ des ciments amorphes des houilles paléozoïques.

Les algues inférieures, si abondantes dans les Bogheads, ont pu également jouer un certain rôle dans la formation des ciments amorphes des houilles bien que leurs dépouilles, parfaitement fossilisées dans ces charbons spéciaux, ne se rencontrent que très rarement dans les houilles proprement dites <sup>(1)</sup>.

En dernière analyse, l'on doit donc admettre que les substances dissoutes qui ont donné naissance par précipitation de gels colloïdaux au ciment des lits hétérogènes et aux lits de houille amorphe avaient des origines multiples pouvant se rapporter à trois types distincts :

1<sup>o</sup> — Ces substances dérivait surtout de la *destruction totale* (désorganisation) de certains tissus (tissus cellulosiques) et de l'*altération* de substances végétales non organisées (protoplasme, substances de réserve, etc...), en un mot de toutes les substances végétales autres que celles que l'on trouve fossilisées dans les houilles et des produits d'altération de ces mêmes débris fossilisés.

2<sup>o</sup> — Elles provenaient en partie de la *dissolution* de formations humiques précédemment individualisées, dissolution résultant du lessivage par les eaux de ruissellement de l'humus des sols de végétation (eaux brunes de C. EG. BERTRAND) ou éventuellement de couches de houilles incomplètement durcies et récemment exondées par suite du déplacement des lignes de rivages.

3<sup>o</sup> — Elles pouvaient encore provenir de l'*accumulation sur le fond* des dépouilles d'un *plancton* formé surtout d'infusoires et de bactéries qui trouvaient dans les eaux riches en débris végétaux flottés un milieu très favorable à leur développement et à leur reproduction.

#### γ. — FORMATION DES CIMENTS DES DIVERS TYPES LITHOLOGIQUES DE HOUILLES.

Nous avons vu précédemment (Chapitre VIII, p. 163 à 170) comment des différences de natures de substances végétales initiales expliquent la formation des ciments (pâtes ou substances fondamentales), à caractères chimiques très variés sous des aspects physiques identiques, que l'on rencontre dans les houilles des divers types lithologiques et chimiques.

Je ne parlerai donc ici *que du mécanisme de la genèse* de ces différents types de pâtes cor-

(1) Dans le premier mémoire que j'ai publié j'avais déterminé comme algue, d'après des similitudes d'aspect avec le genre *Pila* de BERTRAND et RENAULT des organismes ([180], Pl. IV, Fig. 13, a, et p. 65) qui ont été trouvés depuis en plus grande abondance dans certains lignites secondaires et tertiaires et attribués par divers auteurs à des *sclérotés* de champignons.

respondant à des variétés de houilles qui se sont individualisées à des distances plus ou moins importantes du sol des forêts marécageuses houillères.

1° — *Genèse du ciment des houilles cellulosiques (houilles anthraciteuses).*

Ces houilles sont celles qui se sont accumulées le plus près du bord de la lagune houillère et par conséquent du sol inondé de la forêt marécageuse.

Or, l'altération et la mise en solution des produits végétaux devaient se réaliser partout où les substances organiques étaient recouvertes par les eaux de la lagune. Elles étaient surtout très actives sur le *sol même des forêts houillères* où s'accumulait, sous une lame d'eau assez mince, un humus plus ou moins chargé de matières minérales que nous retrouvons fossilisé dans les sols de végétation (murs à *Stigmaria*) dont les éléments végétaux aplatis et très altérés indiquent bien *que des quantités importantes* des tissus qui constituaient les organes qu'ils représentent (*stigmaria*, radicules de *stigmaria*) ont été désorganisés et détruits. Le lessivage des sols de végétation houillers donnait donc naissance, comme celui des sols de certaines de nos forêts, <sup>(1)</sup> à *une solution humique* constamment alimentée par de nouveaux produits d'altération ou de transformation de l'humus accumulé au pied des végétaux arborescents.

La formation en grande abondance de cette solution humique qui présentait peut-être les caractères des « eaux brunes » dont C. EG. BERTRAND a parlé à différentes reprises, et où prédominaient surtout les produits d'altération de la cellulose et des substances voisines, avait pour premiers résultats de donner naissance dans la masse d'eau de la lagune houillère à *des différences de concentration* ; les eaux des zones marginales boisées étant plus riches en substances dissoutes que les zones plus éloignées de la rive. Ces seules différences de concentration suffirent pour expliquer *la diffusion des substances dissoutes vers le large* et pour déterminer dans la masse liquide des courants très lents suivant cette même direction.

Les substances dissoutes pouvaient donc être entraînées, peu à peu, vers le large et gagner des points où n'arrivaient plus les fines particules minérales constitutives des schistes. Dans ces régions leur précipitation sur le fond donnait naissance à intervalles plus ou moins réguliers, suivant que les périodes de reconcentration étaient plus ou moins longues, à des lits de houille amorphe (houille brillante = Vitrain) assez minces mais d'une certaine étendue. En ces zones encore assez rapprochées des forêts houillères, l'apport de débris végétaux sur le fond était très faible, la plupart d'entre eux étant emportés plus loin par les vents et ceux qui s'immergeaient lentement n'ayant pas encore eu le temps de gagner les parties profondes des eaux de la lagune et se trouvant entraînés vers le large dans les régions superficielles de la masse fluide. Dans ces conditions, la sédimentation en corps figurés était *pratiquement nulle* pendant les espaces de temps relativement courts durant lesquels se réalisait la coagulation d'un lit de houille brillante et restait *peu considérable* pendant les intervalles plus longs qui s'écoulaient entre la formation de deux lits de houille amorphe consécutifs.

C'est de cette façon que se sont déposées les veines de houilles anthraciteuses (houilles à tissus ligneux gélifiés) constituées surtout dans notre bassin houiller par de nombreux lits de houille brillante (houille amorphe = Vitrain) superposés, contenant interstratifiés dans leur masse des fragments assez volumineux de Fusain et des lits de houille semi-brillante à peine

(1) C'est de cette façon que se forme l'*alios* grès à ciment organique. Voir : [84], p. 563.

différents des précédents ; lits ne contenant que des lambeaux de tissus cellulaires fortement gélifiés représentant les derniers vestiges des débris végétaux dont la destruction quasi totale a contribué à enrichir la solution humique qui les véhiculait.

Dans le Nord de la France, les houilles anthraciteuses dérivent principalement du dépôt de substances dissoutes, substances très évoluées au point de vue chimique, provenant surtout de la cellulose ou des tissus les plus altérables des végétaux et pour une certaine proportion de la lignine ; caractères qui expliquent les faibles teneurs en matières volatiles et en cendres <sup>(1)</sup> de ces charbons constitués presque exclusivement de houille brillante (Vitrain) où les substances cellulosiques et les tissus les plus altérables des végétaux complètement désorganisés se trouvent conservés.

2° — *Formation du ciment des houilles ligneuses (houilles à coke).*

Dans des régions plus éloignées de la forêt houillère que celles où se déposaient les houilles anthraciteuses, les quantités de débris végétaux devenaient plus considérables dans le voisinage du fond de la lagune là où se coagulait la substance colloïdale par précipitation des substances dissoutes ; les corps figurés les plus denses (tissus ligneux) immergés depuis un certain temps gagnant peu à peu par précipitation mécanique les zones les plus profondes de la lame d'eau.

En ces points, les substances en solution ne provenaient plus en majeure partie du lessivage du sol de la forêt houillère, mais dérivait au contraire de l'altération et des destructions partielles <sup>(2)</sup> ou totales des fragments de tissus ligneux qui s'enfonçaient lentement au cours de leur pérégrination.

La pâte, provenant de la coagulation de substances dissoutes qui s'individualisait suivant les cas sous forme de lits de houille brillante (Vitrain) ou du ciment des houilles semi-brillantes (Clarain), dérivait donc en majeure partie des produits directs d'altération des tissus ligneux. Cette origine particulière explique pourquoi les lits de houille brillante de ces charbons possèdent des compositions chimiques assez voisines de celles des lits de houille semi-brillante qui contiennent de nombreux débris de bois que ne renferment pas les précédents ; *la pâte formée par les produits directs d'altération des tissus ligneux présentant alors des compositions chimiques assez voisines de celles de ces corps figurés.*

Dans ces conditions, les houilles ligneuses représentent des faciès plus profonds que les houilles cellulosiques. Elles doivent surtout leurs propriétés particulières (teneurs moyennes en matières volatiles) à la prédominance de la lignine et de ses produits d'altération dans la genèse de leur pâte qui enrobe des corps figurés de nature également ligneuse.

3° — *Formation du ciment des houilles de Cutine (houilles grasses maréchales, grasses à gaz et grasses flambantes).*

Nous avons vu que ces houilles de Cutine se présentent soit à l'état de *charbon de spores*, soit à l'état de *charbons de cuticules*.

(1) Comme nous l'avons vu antérieurement (Chapitre IX, Appendice, p. 198), ce mode de formation des houilles anthraciteuses explique ces faits à première vue contradictoires d'un enrichissement en carbone fixe coïncidant avec des appauvrissements simultanés en matières volatiles et en substances minérales.

(2) Comme il a été dit précédemment la forme lenticulaire constante des masses et lames de tissus ligneux est due à des phénomènes de dissolutions des parties saillantes.

Les spores et les feuilles qui ont joué les rôles prépondérants dans la genèse des houilles de cutine étaient des organes très légers, en forme de lames ou de disques, susceptibles d'être transportés très loin par les vents, elles n'échouaient dans les eaux de la lagune qu'en des points plus ou moins éloignés de la forêt houillère, mais plus distants de cette dernière que ceux où s'immergeaient les fragments de tissus ligneux. De plus, les spores ou les feuilles qui tombaient prématurément à la surface de l'eau s'y maintenaient longtemps avant de s'y enfoncer, grâce à leur coefficient élevé de flottabilité, et se trouvaient entraînés par les courants avant de gagner le voisinage du fond où la précipitation des substances dissoutes enrobant les corps figurés donnait naissance aux dépôts colloïdaux, point de départ des différents constituants des couches de houille.

Entraînées plus loin par les vents et par les eaux au cours de leur immersion lente, les spores et les cuticules ne gagnaient les zones profondes de la lame d'eau qu'en des points assez éloignés de ceux où s'accumulaient les débris ligneux, points où ces derniers n'arrivaient plus qu'en faibles proportions eu égard à celles de spores et de cuticules en présence.

Dans ces conditions, l'on comprend facilement que la pâte des houilles de cutine ait été à l'origine totalement différente de celle des houilles ligno-cellulosiques, car il est évident que les substances dissoutes qui lui ont donné naissance n'étaient pas semblables dans l'un et l'autre cas. Tandis que la pâte des houilles ligno-cellulosiques s'est différenciée à partir des produits d'altération de la cellulose, des pectoses et de la lignine associés dans les tissus lignifiés, celle des houilles de cutine dérivait, au contraire, des contenus des enveloppes cutinisées que nous retrouvons seules fossilisées dans ces charbons. Le protoplasme et les substances nucléaires des spores et des cellules vivantes des feuilles et la chlorophylle de ces dernières (*substances albuminoïdes*) constituaient conjointement avec les *substances de réserve* (amidons, sucres, hydrates de carbone) très abondantes dans le protoplasme des cellules reproductrices et les tissus des appareils foliaires, le principal apport de substances plus ou moins solubles qui, au cours de l'immersion lente des débris végétaux, subissaient des altérations qui leur ont permis de passer intégralement en solution ou en pseudo-solution dans les eaux de la lagune. Le rôle prépondérant joué par les albuminoïdes dans la genèse de la pâte des charbons de cutine explique les hautes teneurs en matières volatiles des lits de houille brillante (Vitrain) qui en sont complètement formés et qui correspondaient à la coagulation des substances dissoutes en des lieux où, par suite de certaines circonstances (ralentissement temporaire dans la production des spores, déviation des vents ou des courants dominants...), l'apport de spores ou de feuilles était pratiquement nul.

Les houilles de cutine doivent donc leurs caractères particuliers, d'une part, à la nature de leurs corps figurés et, d'autre part, à la nature de leur pâte qui dérivait de l'altération des mêmes débris végétaux. Parmi les houilles elles représentent des faciès plus profonds ou d'eaux plus calmes que les autres types de charbons (ch. ligneux et ch. cellulosiques), fait du reste confirmé par l'étude des Gayets ou Cannel-Coals où nous verrons les caractères de formation profonde s'exagérer encore.

## B

## Genèse des Cannel-Coals et des Pseudo-Cannel-Coals Roches combustibles mixtes

Ces roches combustibles qui forment la plupart des lits ou passées de GAYET de nos mineurs comprennent deux types distincts à aspects extérieurs identiques qui correspondent respectivement aux houilles de cutine et aux houilles ligno-cellulosiques. Ils contiennent les mêmes débris végétaux que ces dernières, débris qui sont en règle générale de plus petite taille et présentent des états d'altération plus accentués ; caractères qui indiquent en même temps qu'une origine moins littorale une évolution différente des accumulations végétales.

Les Cannel-Coals sont, comme l'ont montré les beaux travaux de C. EG. BERTRAND et B. RENAULT, des roches mixtes contenant à la fois les *éléments terrigènes* des houilles de cutine (spores, cuticules, menus débris de bois) et des *éléments planctogènes* représentés surtout par des algues gélosiques. Quant aux Pseudo-Cannel-Coals, dont la structure microscopique est moins bien connue que celle des Cannel-Coals, leur examen en lumière réfléchie ayant démontré leur parenté paléontologique avec les houilles ligno-cellulosiques, leur grain très fin et leur similitude de texture avec les Gayets à spores conduisent à leur attribuer également une origine relativement profonde.

La formation en eau profonde de ces roches combustibles à grain très fin étant universellement admise, même par les partisans de la théorie de la formation sur place des couches de houille, je ne donnerai pas ici les raisons sur lesquelles se trouve basée cette opinion et je me bornerai à énoncer simplement cette notion *que les couches de Cannel-Coals et de Pseudo-Cannel-Coals, qui indiquent clairement le mélange, en certains points de la lagune houillère, des débris terrigènes des houilles et des organismes planctogènes des Bogheads, se formaient à partir d'accumulations végétales mixtes qui se déposaient dans des régions plus profondes ou dans des eaux plus calmes que celles où s'accumulaient les veines de houille.*

La localisation des lits de Cannel-Coals dans les régions où les veines de houille sont à l'état de charbon de cutine, l'interstratification fréquente de ces Cannels-Coals dans les couches de houille de cutine et leur passage latéral à ces mêmes houilles de cutine, d'une part, la localisation des lits de Pseudo-Cannel-Coals dans les parties du gisement où l'on rencontre exclusivement des houilles ligno-cellulosiques, d'autre part, sont des faits d'observation constants qui montrent que ces lits de charbons spéciaux représentent dans bien des cas *des faciès plus profonds* d'accumulations végétales appartenant respectivement aux deux variétés qui ont donné naissance aux divers types lithologiques de houilles.

Dans le Nord de la France, l'étude du mode de formation des houilles et des gayets conduit donc exactement aux mêmes conclusions que celle des toits des différents types qui ont été décrits antérieurement par MM. CH. BARROIS ([25], p. 191) et P. PRUVOST ([496], p. XXII). Comme cette dernière elle permettra, grâce à des recherches de détail, de préciser dans certains cas les formes et les contours du bassin de sédimentation primitif.

## C

### Genèse des Bogheads Roches combustibles planctogènes

Ces roches dont la présence a été signalée en différents points du Bassin houiller <sup>(1)</sup> sont, comme l'ont montré les beaux travaux de C. EG. BERTRAND et B. RENAULT <sup>(2)</sup> confirmés depuis par ceux de MM. P. BERTRAND [88], R. THIESSEN [643] et M. ZALESSKY [705], des sédiments formés essentiellement par les dépouilles d'un plancton très riche en algues gélosiques. Ce plancton comprenait à côté des algues d'autres êtres vivants représentés par des animaux ou des plantes microscopiques dont les restes se trouvent mélangés à des débris d'animaux supérieurs (poissons, crustacés...) et à de rares vestiges de végétaux arborescents tels que des macrospores ou des microspores qui caractérisent les Cannel-Coals.

Ces roches sont les équivalents anciens des *Sapropèles* qui ont été si bien décrits dans les beaux mémoires de H. POTONIE <sup>(3)</sup>.

Dans la série des roches combustibles houillères, elles représentent des formations presque totalement privées d'éléments organiques terrigènes et constituées quasi uniquement par des éléments empruntés à un plancton qui vivait en certains points de la surface des eaux tranquilles de la lagune carbonifère. Ce sont donc des sédiments d'eaux plus profondes ou plus calmes que les Cannel-Coals, les Pseudo-Cannel-Coals ou les houilles.

## III

### FORMATION DES ROCHES MIXTES

Je réunirai sous ce vocable toutes les roches houillères intermédiaires entre les *roches stériles* relativement pauvres en débris végétaux et les *roches combustibles* qui ont fait l'objet des développements I et II de ce chapitre. Ces roches mixtes comprennent donc les grès et les schistes riches en débris végétaux ou *grès et schistes à débris de plantes flottées*, les *grès et schistes charbonneux* et les *grès et schistes bitumineux* auxquels viennent s'ajouter les *grès ou les schistes qui sont devenus des sols de végétation* (murs).

Au point de vue paléontologique, ces roches mixtes se divisent en deux groupes suivant que les débris de plantes qu'ils renferment sont identiques à ceux des houilles (*grès et schistes charbonneux ou bitumineux*) ou que ces débris sont, au contraire, représentés par des fragments de végétaux de grande taille ayant conservé leur organisation générale et partant mieux fossilisés que ceux des charbons. C'est à ce deuxième groupe de roches qu'appartiennent les *schistes et grès à végétaux flottés*.

(1) Voir notamment les Mémoires [85], [181 et 190].

(2) Voir la plupart des mémoires figurant dans la liste bibliographique sous les numéros [44] à [83], [523], [527].

(3) Consulter en particulier les mémoires [473], [474], [476] et [482].

Graphique représentant la classification des roches houillères proposée dans ce mémoire.

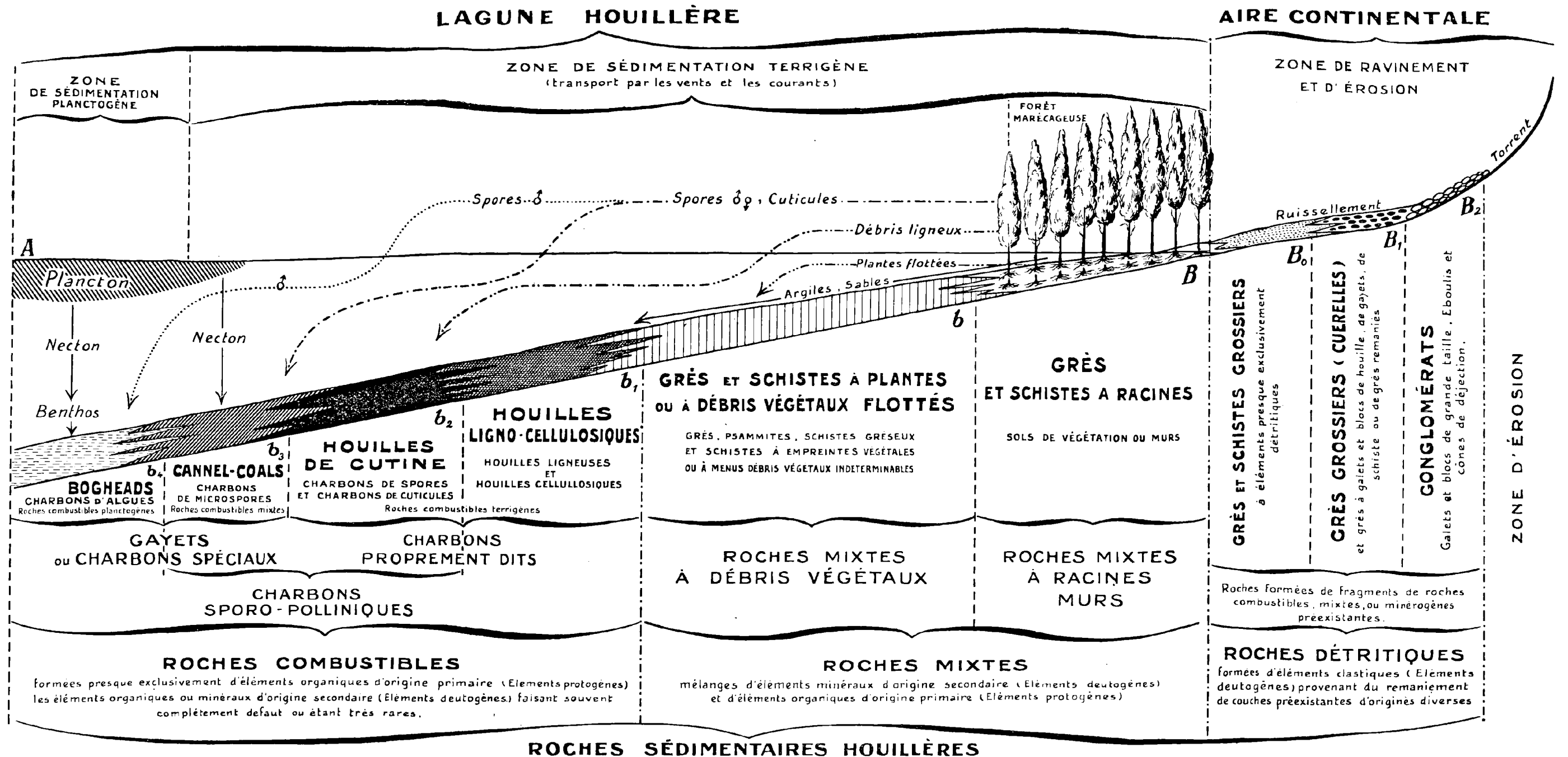


FIGURE 80<sup>1</sup>. — Cette figure schématique représente la formation simultanée des divers types de sédiments houillers dans le cas particulièrement simple où les débris et particules clastiques, d'une part, et les fragments végétaux, d'autre part, se trouvaient entraînés dans une direction sensiblement normale à la rive de la lagune houillère. Dans un but de simplification elle fait abstraction du transport de ces mêmes débris détritiques ou fragments végétaux par des courants parallèles ou légèrement obliques à la rive en question.

Pour cette raison, cette figure montre le passage graduel et l'interstratification, soit des houilles ligno-cellulosiques et des houilles de cutine, soit des mêmes houilles de cutine et des gayets, faits qui s'observent plus ou moins fréquemment dans le gisement franco-belge.

Cette figure, qui a surtout pour but d'indiquer la classification et les rapports respectifs des différents types de sédiments houillers, ne doit pas laisser perdre de vue que par suite des apports minérogènes des fleuves et des rivières véhiculés par les courants côtiers et par le fait que les aires de dispersion des divers types de débris végétaux étaient presque toujours différentes, les houilles ligno-cellulosiques, les houilles de cutine et les gayets ne constituaient pas, le plus souvent, une formation continue, mais un ensemble discontinu séparé par des espaces recouverts par des sédiments stériles ou mixtes comme cela a pu être constaté très fréquemment (couches de houille homogènes du toit au mur, passée de gayet isolée dans les stériles).

Il y a lieu, également, de se rappeler que les éléments de beaucoup de roches stériles pouvaient provenir, comme l'indiquent les figures 81<sup>1</sup> et 82<sup>1</sup> (Planche D), non pas d'apports détritiques dépendant de la rive basse marécageuse où croissaient les forêts carbonifères, mais de la rive opposée plus escarpée, moins favorable au développement des marécages boisés, et plus propice à la réalisation des conditions de dépôt des conglomérats, des poudingues et des grès grossiers. De même, les sédiments grossiers placés sur ce schéma à droite de la figure pouvaient dans certains cas s'accumuler sur le sol inondé de la lagune houillère, en particulier dans le voisinage des embouchures des rivières.





Quant aux *sols de végétation*, l'on admet aujourd'hui qu'ils résultent de l'installation d'une forêt marécageuse sur n'importe quelle roche préexistante et que, par conséquent, leurs caractères pétrographiques sont très variables, seuls leurs caractères paléontologiques (présence de racines) permettant de les grouper.

Dans l'hypothèse où nous nous sommes placés de la formation des couches de houille par transport des menus débris végétaux et des substances végétales dissoutes, la genèse de ces roches mixtes, si abondantes dans le gisement où elles passent latéralement aux houilles et aux gayets (Cannel-Coals, Pseudo-Cannel-Coals, Bogheads), s'explique très simplement par le jeu normal des lois de la sédimentation qui président à la formation de toutes les roches sédimentaires constituées par des éléments transportés.

Le mélange dans la masse des roches mixtes des éléments minéraux clastiques des roches stériles, d'une part, et des débris végétaux identiques ou de même origine que ceux des roches combustibles, d'autre part, s'explique de la même façon que la localisation de ces deux types d'éléments constitutifs dans les deux groupes extrêmes de roches houillères et résulte d'un classement mécanique consécutif à un transport d'une certaine amplitude.

Dans ces conditions, l'on se trouve amené naturellement à admettre que les dépôts initiaux des roches mixtes s'accumulaient en des points de la lagune houillère où les conditions de sédimentation étaient intermédiaires entre celles des points où se sont formées respectivement les roches stériles et les roches combustibles, les trois grands types de roches appartenant tous à un même cycle sédimentaire.

#### IV

### RÉPARTITION HORIZONTALE DES DIVERS TYPES DE SÉDIMENTS HOUILLERS

#### PLANCHE C ET D

Tout ce qui vient d'être dit sur le mode de formation des divers types de sédiments houillers peut être résumé par la figure schématique et le tableau synoptique de la planche C du texte.

La figure en question permet de se rendre compte des modes de dispersion et d'accumulation des différents types de débris végétaux qui caractérisent les roches houillères mixtes ou combustibles et indique en même temps leur distribution sur le fond de la lagune carbonifère. Elle montre, en outre, le rôle important joué par la forêt marécageuse houillère qui formait l'écran protecteur à l'abri duquel pouvaient se trouver réalisées les zones d'eaux tranquilles où n'arrivaient plus les troubles minéraux les plus ténus.

Cette figure à caractères schématiques qui est destinée à résumer graphiquement le mécanisme de la formation des sédiments houillers n'a nullement la prétention de représenter dans toute sa complexité l'ensemble des phénomènes de sédimentation qui par leur diversité même échappent à une figuration de ce genre, mais seulement la façon dont après longue réflexion je comprends dans ses grandes lignes le dit mécanisme.

Telle quelle elle permet d'expliquer un certain nombre de faits d'observation sur lesquels j'insisterai tout d'abord,

Dans le cas très simple d'un alluvionnement s'opérant surtout par un apport de matériaux dont la direction était normale à la rive de la lagune houillère, ce mode de formation des divers types de sédiments houillers explique, d'une part, *le passage de la houille aux schistes* et, d'autre part, *le passage de la houille aux gayets* ; faits si souvent observés dans notre bassin houiller et représentés sur la figure schématique 80<sup>t</sup> de la planche C par les contacts en zigzags de ces différentes roches.

Dans cette même figure, le voisinage des houilles ligno-cellulosiques et des houilles de cutine se justifie par l'interstratification de ces deux grands types lithologiques de charbons proprement dits dans un petit nombre de nos veines de houille. (Voir : Chapitre XX<sup>e</sup>).

Cependant, cette interstratification des deux grandes variétés de houille est, comme je l'ai rappelé précédemment, un fait très rare dans notre gisement, caractère qui semble indiquer que les aires de dépôt de ces deux types de houille n'étaient pas forcément contiguës. Cette absence de contiguïté n'a rien qui doive nous étonner si l'on songe qu'à un moment donné, *les modes de transport des débris cutinisés (spores, feuilles, cuticules)*, d'une part, *et des débris ligneux*, d'autre part, *étaient essentiellement différents*. Les débris ligneux qui s'immergeaient beaucoup plus vite que les autres débris végétaux étaient entraînés par des courants lents en des points très différents de ceux où les spores, les fragments de feuilles et les cuticules s'immergeaient à leur tour. D'autre part, aux points à partir desquels le transport des débris cutinisés s'effectuait dans l'eau, la direction des courants dominants n'était pas forcément la même que là où avait lieu l'ennoyage des fragments de bois ou de sclérenchyme.

Dans ces conditions, les houilles de cutine et les houilles ligno-cellulosiques formées simultanément ne représentaient pas normalement deux types d'accumulations contiguës, *mais des accumulations distinctes à répartitions géographiques différentes*. C'est à ces deux types d'accumulations distinctes que se rattachaient respectivement les cannel-coals et les pseudo-cannel-coals qui, comme nous l'avons vu précédemment (Chapitre XX<sup>e</sup>, Planche B), présentent les mêmes répartitions géographiques que les houilles de cutine, d'une part, et les houilles ligno-cellulosiques, d'autre part.

De même, les caractères pétrographiques si différents des deux types ligno-cellulosiques de houille s'expliquent, dans une certaine mesure, par le fait que leurs aires de dépôt pouvaient être nettement distinctes et que les débris végétaux d'origines semblables qu'ils contiennent ont pu subir des vicissitudes variées au cours de phénomènes de transport assez dissemblables auxquels ils ont été soumis dans l'un ou l'autre cas.

Comme conclusions à ce qui vient d'être dit, l'on doit donc admettre que les houilles de cutine, les houilles ligneuses et les houilles celluloses, qui se formaient au dépens de débris provenant des mêmes végétaux ayant subi un classement mécanique, *ne s'individualisaient pas à partir d'un seul dépôt continu*, mais au contraire *au dépens d'accumulations à répartitions géographiques distinctes*. Ce mode de formation des couches de houille explique bien l'allure particulière des veines du Nord de la France qui sont toutes plus ou moins des lentilles s'amincissant suivant certaines directions où elles se transforment *en minces passées* <sup>(1)</sup> de houille, de char-

(1) Voir : P. PRUVOST, [496], p. XII. Le terme « passée » s'applique à des couches de houille ou de gayet dont l'ouverture est trop faible pour que leur exploitation puisse être rémunératrice.

bons spéciaux (Gayets) ou de roches mixtes (schistes et grès charbonneux ou bitumineux) ou passent graduellement à des couches de ces mêmes roches stériles ou combustibles <sup>(1)</sup>.

Des remarques analogues à celles qui viennent d'être indiquées pour les roches combustibles doivent être faites en ce qui concerne les roches mixtes. En effet, le schéma en question (Planche C), qui a été conçu à dessein dans le cas le plus simple que l'on puisse imaginer, suppose *une origine d'alluvionnement unique* (ruissellement) et un déversement des particules clastiques entraînées suivant *une seule direction*, celle de la normale à la rive de la lagune houillère.

Bien que sur des aires continentales dénudées, le ruissellement ait dû jouer un rôle important dans l'apport à la lagune houillère des particules détritiques et des troubles minéraux, il ne paraît pas douteux que les phénomènes d'alluvionnement revêtaient une complexité beaucoup plus grande. La topographie naturelle des aires continentales et le jeu de l'érosion déterminaient la formation de cours d'eau capables de collecter les produits de destruction de certaines zones d'érosion et de les amener en masse dans la lagune houillère où, dans des masses d'eau non soumises au balancement des marées, les particules les plus grossières se déposaient sous forme de deltas, tandis que les particules les plus fines et surtout les troubles minéraux se trouvaient entraînés par les courants côtiers suivant des directions sensiblement parallèles aux rives <sup>(2)</sup>.

Ces apports des rivières ou des fleuves constituaient autant d'origines d'alluvionnement agissant suivant des directions autres que celle de l'apport minéral provenant du ruissellement, ils présentaient des intensités très variables en chaque point ; leur importance dépendant, en réalité, en un point donné, de nombreux facteurs tels que la proximité des embouchures des fleuves ou des rivières, l'importance des dits cours d'eau, le tracé et le relief du rivage, la présence de caps ou de baies, etc..., en un mot de toutes les causes susceptibles de modifier plus ou moins profondément le régime sédimentaire.

Parmi ces causes, une attention particulière doit être attribuée au développement des forêts houillères qui non seulement représentent les appareils générateurs qui ont effectué la synthèse des substances végétales constitutives des houilles, mais encore ceux qui, en déterminant le long des rives de la lagune la formation de sols de végétation marécageux où les fûts et les souches des arbres gigantesques ralentissaient rapidement la vitesse de l'eau et diminuaient ses facultés de transport des particules minérales, ont favorisé la réalisation de zones de sédimentation où n'arrivaient plus guère que des débris végétaux et où ont pu se former les couches de houille <sup>(3)</sup>.

Quant aux sédiments mixtes et aux sédiments détritiques, leur origine double à partir des apports des rivières et des fleuves, d'une part, et de ceux provenant des eaux de ruissellement, d'autre part, explique pourquoi leur nature, leur puissance et leur surface de répartition varient considérablement comme cela s'observe si souvent en de nombreux points du gisement.

(1) L'ensemble de mes observations ayant porté surtout sur les houilles du Nord de la France, j'entends me placer uniquement ici au point de vue des couches de ce gisement ou des gisements similaires où les veines présentent à différents degrés les caractères que je viens de rappeler.

Dans le cas de couches à grande ouverture et à extensions géographiques considérables, il est évident que le mode de sédimentation devait être assez différent de celui des veines relativement minces et à répartition horizontale restreinte. N'ayant pas à ma disposition de documents suffisamment nombreux, je n'aborderai pas ici l'étude du mode de formation de telles couches du reste beaucoup plus rares que celles d'épaisseurs plus modestes.

(2) Sur les origines diverses de ces éléments détritiques voir Ch. XXVIII et Pl. D.

(3) Les figures 81<sup>a</sup> et 82<sup>a</sup> (Pl. D) montrent que ces zones se trouvaient réalisées aussi bien durant les régressions que pendant les périodes de transgression.

En résumé, le mode de formation des roches houillères tel qu'il a été envisagé précédemment explique bien pourquoi, comme le faisait remarquer M. PRUVOST dans son mémoire sur la Faune du Terrain houiller du Nord de la France <sup>(1)</sup> : « les divers types de sédiments loin de constituer des couches étendues conservant les mêmes caractères sur de grandes surfaces, augmentent rapidement d'épaisseur ou se réduisent ou disparaissent, *les couches houillères étant toutes plus ou moins des lentilles* ».

De plus, les considérations qui nous ont amené à admettre que les accumulations végétales qui ont donné respectivement naissance dans nos régions aux houilles de cutine, aux houilles ligneuses et aux houilles cellulosiques n'étaient pas forcément contiguës *expliquent la grande rareté*, d'une part, *des superpositions dans une même couche des différents types lithologiques de houille et*, d'autre part, *des types mixtes de ces roches combustibles* qui n'ont pu être observés que tout à fait sporadiquement dans le Bassin houiller du Nord de la France.

Cette discontinuité dans l'espace des trois types d'accumulations végétales primordiales explique aussi ces faits si souvent observés de l'amincissement latéral des veines des diverses variétés de houille *qui se réduisent par place à de minces passées ou passent latéralement à des lits de gayet* (Cannel-Coals ou Pseudo-Cannel-Coals). Elle explique également pourquoi en certains points les formations correspondant à une veine de houille donnée sont à l'état de roches mixtes ou de roches stériles, roches que l'on rencontre notamment dans les zones non productives telles que celles qui jalonnent la partie médiane du gisement.

### Conclusions du Chapitre vingt-cinquième

De ce qui précède l'on peut conclure :

1<sup>o</sup> — Que la formation des roches combustibles (houilles, Cannel-Coals, Pseudo-Cannel-Coals, Bogheads) comme celle des roches mixtes (grès et schistes charbonneux ou bitumineux, grès ou schistes à végétaux flottés) et des roches stériles (conglomérats, grès ou schistes essentiellement minérogènes) s'expliquent non pas par des conditions qui seraient particulières à l'époque houillère, comme on l'a parfois envisagé antérieurement, *mais par le jeu normal des lois de la sédimentation* qui se sont exercées semblables à elles-mêmes au cours de toutes les périodes géologiques.

2<sup>o</sup> — Que la genèse des couches de houille s'explique simplement en faisant seulement intervenir *les modes de transport des débris végétaux ou des substances végétales dissoutes que nous observons dans la nature actuelle*, les seules différences portant uniquement sur les *intensités des phénomènes* qui sont naturellement en rapport avec les variations des conditions particulières des milieux.

3<sup>o</sup> — Que les divers types de sédiments houillers, si dissemblables les uns des autres en ce qui concerne les types extrêmes, *se déposaient simultanément dans le temps et dans l'espace en des points différents de la lagune carbonifère* ; de sorte qu'à la théorie des *deux cycles sédimentaires*, corollaire nécessaire de l'hypothèse de l'autochtonie absolue, il y a lieu de substituer celle d'un *cycle sédimentaire unique* dont les divers termes se répétaient continuellement par suite de l'affaissement du géosynclinal houiller et du rajeunissement continu des aires continentales.

(1) PIERRE PRUVOST, [496], p. XI.

## CHAPITRE VINGT-CINQUIÈME

**La question des sols de végétation fossiles****(Murs à *stigmaria*)**

## PLANCHE D

## SOMMAIRE

- I. — PRÉSENCE DE SOLS DE VÉGÉTATION AUTOCHTONES (MURS A STIGMARIA) SOUS LES COUCHES DE HOUILLES ALLOCHTONES.
- A. — Fréquence des sols de végétation sous les couches de houille.
- B. — Accumulation de houilles allochtones sur les sols fossiles de végétation.
- C. — Fréquence des sols de végétation sous les couches de houilles allochtones.
- II. — SUPERPOSITION DES DIVERS TYPES DE SÉDIMENTS HOUILLERS.
- Variation de nature et d'épaisseur des stampes stériles.

Toute théorie sur la formation des couches de houille et des roches qui leur sont associées doit expliquer la *répétition* et la *superposition continues* de lits semblables de roches stériles (schistes et grès) et de roches combustibles (houilles et gayets), d'une part, et la fréquence des sols de végétation sous la plupart des veines de houille, d'autre part.

Sur ce dernier point, la théorie de la formation des couches de houille par alluvionnement, qui est celle qui s'accorde le mieux avec les faits d'observation révélés par l'étude microscopique des charbons, paraît soulever une difficulté particulière. En effet, cette théorie de la formation des veines de charbon par flottage des débris végétaux semble à première vue expliquer moins facilement que la théorie du tourbage la présence de sols de végétation qui ont pu être observés sous un grand nombre des dites veines.

Comme nous le verrons dans le développement qui va suivre, cette difficulté est plus apparente que réelle, car il suffit de faire intervenir les lois générales de la sédimentation pour expliquer très simplement cette particularité de nos veines de houille en même temps que la superposition continue des mêmes roches.

## I

**Présence des sols de végétation autochtones sous les couches de houilles allochtones.**

## A. — FRÉQUENCE DES SOLS DE VÉGÉTATION SOUS LES VEINES DE HOUILLE.

Les *sols de végétation* (murs à *stigmaria*) sont extrêmement fréquents dans les formations houillères où on les rencontre indifféremment, soit *sous les couches de charbon*, soit *au milieu des roches stériles*.

Comme le faisait très justement remarquer J. CORNET, « les murs sont des éléments plus constants que les couches de houille », ils « peuvent continuer à exister lorsque les couches de houille s'amincissent et disparaissent » <sup>(1)</sup>; de sorte que l'« on rencontre dans l'examen des carottes de sondages et dans les boueux beaucoup d'exemples de toits et murs adossés sans interposition de charbon ». <sup>(2)</sup>

Dans le Bassin houiller du Nord de la France, l'on constate généralement qu'une couche de houille repose presque toujours sur un ancien sol de végétation. Cependant, dans ce gisement cette superposition représente une règle générale qui comporte des exceptions, car il n'est pas douteux que certaines veines de houille ou certains sillons de veine de houille ne reposent pas sur des murs à *stigmaria*. L'absence possible de tout sol de végétation sous certaines couches de houille vient, en effet, d'être admise dans un ouvrage classique par M. PAUL BERTRAND <sup>(3)</sup> et elle s'observe pour tous les sillons de charbon reposant sur des lits de gayets ou de schiste bitumineux sans racines. Cette manière de voir est du reste conforme à ce qui a été observé dans d'autres gisements, notamment par C. GRAND'EURY <sup>(4)</sup> et différents auteurs cités par ce dernier [278].

A ces rares exceptions près, dans le Bassin du Nord et du Pas de Calais l'on doit donc admettre, d'après les recherches effectuées à ce jour, que dans la quasi totalité des cas les couches de houille reposent sur un mur à *stigmaria* qui représente une formation incontestablement autochtone.

#### B. — ACCUMULATION DE HOUILLE ALLOCHTONE SUR LES SOLS DE VÉGÉTATION AUTOCHTONES.

L'accumulation fréquente de houille formée par flottage de débris végétaux sur les substratums à caractères indiscutablement autochtones que sont les murs à *stigmaria*, suppose que ces murs représentaient déjà des sols de végétation fossiles au moment où les sédiments végétaux se déposaient à leur surface.

Or, la formation constante de sols de végétation fossiles est une conséquence obligatoire des caractères paludéens de la forêt carbonifère et du comblement continu et progressif de la lagune houillère. En effet, ce comblement progressif entraînait l'exondation de zones marécageuses occupées par la forêt houillère, zones où les végétaux privés de quantités d'eau nécessaires à leur développement et à leur subsistance <sup>(5)</sup> ne tardaient pas à périr en donnant naissance à des forêts fossiles. Ces forêts fossiles soumises au ravinement du fait des eaux de ruissellement se transformaient rapidement elles-mêmes en sols de végétations fossiles par suite de la destruction des arbres morts suivant un processus que nous étudierons dans le chapitre suivant. Selon les circonstances, ces sols fossiles continuaient à être ravinés par les eaux de ruissellement ou devenaient les lieux d'accumulation de sédiments grossiers dont les éléments étaient apportés par les eaux sauvages (Planche D, Fig. 82<sup>t</sup>, a et c).

(1) J. CORNET, [137], § 1094.

(2) J. CORNET, [137], § 1093, note infrapaginale.

(3) Dans ses « Conférences de Paléobotanique » M. P. BERTRAND s'exprime de la façon suivante ([87], p. 133, II, 2<sup>o</sup>) : « Une couche de houille peut en certains points être allochtone à sa base ou dans toute son épaisseur ; elle peut ne pas reposer sur un mur ».

(4) Voir : « Recherches géobotaniques », [284], p. 150 et 169.

(5) Il est admis aujourd'hui que les végétaux houillers ne pouvaient se développer que sur des sols inondés.

D'autre part, la grande épaisseur du complexe houiller suppose que dans le bassin de sédimentation l'action des accumulations minérales ou végétales *se trouvait compensée par des affaissements du sol (subsidences)* qui, comme l'a rappelé récemment M. P. PRUVOST [498], ne sont pas particuliers à l'époque houillère, mais peuvent seuls expliquer la formation de couches d'une certaine épaisseur dans un bassin de sédimentation quelconque.

Ces subsidences consistaient ordinairement en mouvements lents du sol entraînant l'affaissement des aires de sédimentation et le relèvement des aires continentales. Ces mouvements lents, analogues à ceux que l'on observe de nos jours sur diverses côtes, devaient néanmoins revêtir dans certaines circonstances, qui se sont répétées plus ou moins périodiquement et un grand nombre de fois, *l'allure de phénomènes brusques* capables de déterminer des variations importantes dans la position des lignes de rivage.

Dans ces conditions, une subsidence brusque avait pour résultat *l'ennoyage d'un sol fossile de végétation* provenant, d'une part, de la destruction lente et continue de la forêt marécageuse au cours des phénomènes de sédimentation (destruction par exondation progressive) et, d'autre part, de la destruction rapide de la forêt vivante du fait de l'affaissement brusque du sol (destruction par ennoyage Pl. D, Fig. 82<sup>t</sup>, b).

Quant aux subsidences lentes et progressives, elles déterminaient, comme le montrent les figures 81<sup>ta</sup> et 81<sup>tb</sup> (Pl. D), *la formation continue par ennoyage de sols de végétation fossiles*.

Le fond de la lagune houillère approfondie à nouveau par chaque subsidence *était donc constitué en partie par des sols de végétation fossiles* sur lesquels venaient s'accumuler, selon les processus que nous avons étudiés précédemment, les différents types de sédiments houillers.

Suivant les points envisagés, *il se déposait donc sur les sols de végétation fossiles, récemment inondés*, des sédiments meubles de natures différentes variant en quelque sorte en chaque point et susceptibles d'être devenus respectivement les points de départ de la formation des couches de gayet, de houille, de schiste ou de grès que l'on observe fréquemment en superposition directe sur des murs à *stigmaria*.

Dans ces conditions, la houille qui se déposait sur le sol de végétation fossile résultait du dépôt de substances organiques qui *provenaient de l'activité d'une forêt plus récente que celle sur les vestiges de laquelle elle repose actuellement*. Cette houille s'est individualisée par accumulation de débris végétaux empruntés aux arbres de forêts en voie de migration occupant la zone côtière marécageuse située au voisinage des rives de la lagune houillère qui se déplaçaient constamment; de sorte qu'en dernière analyse *les seuls rapports existant entre la veine de charbon et son mur consistent en une simple superposition* et sont exactement de même nature que ceux que l'on observe dans le cas du contact direct d'un toit et d'un mur sans intercalation de roche combustible.

#### C. — FRÉQUENCE DES SOLS DE VÉGÉTATION FOSSILES AUTOCHTONES SOUS LES COUCHES DE HOUILLES ALLOCHTONES.

De nombreuses observations ont montré que dans le Nord de la France la houille s'est très souvent déposée sur des sols de végétation (murs à *stigmaria*), de sorte qu'il convient de donner ici une explication de la fréquence de cette superposition.

D'autre part, comme M. PRUVOST l'a montré [498] au cours des phénomènes de subsi-

dence, les couches houillères précédemment formées se plissaient en même temps que s'accumulaient de nouveaux dépôts dans le bassin de sédimentation.

Dans ces conditions, les phénomènes d'affaissement progressifs (subsidence) du bassin de sédimentation, qui coïncidaient avec le relèvement continu et en quelque sorte compensateur des aires continentales voisines <sup>(1)</sup>, représentaient, en réalité, les premières phases du plissement hercynien dont les paroxysmes devaient mettre fin à une époque si particulière de l'évolution de notre globe.

Les phénomènes lents et progressifs d'affaissement des bassins de sédimentation et de soulèvement des aires continentales avaient une cause d'ordre général sur laquelle je n'insisterai pas ici où je chercherai seulement à expliquer les subsidence lentes ou brusques et leur répétition quasi périodiques au cours de toute la période houillère.

La dépression où se sont accumulés les sédiments houillers du Nord de la France et de la Belgique se trouvait placée sur l'alignement des régions de la croûte terrestre qui ont été affectées plus tard par le plissement hercynien, régions qui possédaient déjà au cours de l'époque carbonifère un *substratum instable* représenté en profondeur par des champs de fractures dont le jeu explique l'affaissement continu du fond des bassins d'alluvionnement.

Les périodes de subsidence lentes et progressives qui coïncidaient avec les phénomènes de transgression semblent bien avoir été les plus favorables à la genèse de veines de houille pauvre en cendres, de grande étendue et d'une certaine épaisseur. Or dans ce cas, comme le montrent les Fig. 82<sup>t</sup>a et 82<sup>t</sup>b (Pl. D), *l'alluvion végétale se déposait toujours en formation transgressive sur un sol de végétation fossile (mur à stigmaria)*.

A certains moments, l'allure de ces phénomènes de subsidence lents et progressifs pouvait être modifiée par le jeu normal des agents de la géodynamique externe. En effet, le comblement quasi total de la lagune houillère, qui se produisait à des moments où l'intensité des phénomènes de sédimentation compensait largement le mouvement négatif de la subsidence, déterminait la formation de complexes sédimentaires constitués par des couches plus ou moins épaisses et plus ou moins étendues dont le poids devenait considérable (Pl. D, Fig. 82<sup>t</sup>, a). Lorsque ce poids atteignait une certaine valeur, fonction elle-même des conditions générales du moment, il entraînait une rupture d'équilibre et le jeu des fractures profondes générateur d'un affaissement plus ou moins brusque du bassin de sédimentation (Pl. D, Fig. 82<sup>t</sup>, b).

Dans de telles conditions, l'on s'explique facilement les différences d'épaisseur des stampes stériles qui séparent les veines successives d'un faisceau en admettant simplement que le mouvement brusque ayant sa cause première dans un phénomène profond, dont l'intensité variait dans le temps, son ampleur se trouvait surtout déterminée par le poids du complexe sédimentaire qui avait pu s'accumuler dans l'intervalle de deux mouvements brusques, poids qui était lui-même un facteur éminemment variable.

Cette même notion explique également pourquoi les couches de houille allochtones se sont déposées très souvent sur des sols de végétation fossiles. La rareté, parmi les roches houillères, des formations planctogènes (Bogheads) presque complètement exemptes d'apports

(1) Il est impossible d'expliquer ce fait d'observation que les limites du géosynclinal houiller sont restées à peu près identiques à elles-mêmes pendant toute l'époque houillère sans admettre cette notion de deux phénomènes opposés, se compensant sensiblement, à laquelle je fais allusion ici.



## EXPLICATION DE LA PLANCHE D

**Exposé des idées développées dans ce mémoire concernant la Genèse des sols de végétation fossiles (murs à stigmaria), la Formation des veines de houille et le recouvrement progressif des accumulations végétales récemment individualisées au cours des périodes de transgression et de régression lentes.**

### Figure 81<sup>t</sup>

**Subsidence lente et progressive. — Genèse des sols de végétation fossiles par inondation. — Transgression de la veine de houille sur son mur à stigmaria.**

#### FIG. 81<sup>t</sup>a. — Début de la subsidence lente (Transgression)

L'affaissement lent et progressif du sol indiqué par les flèches verticales provoquait le déplacement continu de la ligne de rivage de la gauche vers la droite et la migration, suivant la même direction, de la zone marécageuse boisée, migration indiquée par la flèche horizontale.

L'affaissement du sol, qui équivalait à une élévation du plan d'eau, provoquait l'asphyxie des arbres vivant sur la lisière de la forêt paludéenne et la formation vers le large d'une forêt fossile. Les forêts fossiles antérieurement formées donnaient naissance aux sols de végétation fossiles qui existaient plus au large, à gauche de la forêt marécageuse et de la forêt fossile plus récente.

C'était sur ces sols de végétation fossiles que s'accumulaient en formation transgressive, suivant le mécanisme indiqué par la Fig. 80<sup>t</sup> (Pl. C), les dépôts organiques générateurs de la veine de houille, dépôts dont les origines d'alluvionnement étaient représentées par la forêt marécageuse vivante et la forêt fossile en voie de destruction.

La veine de houille elle-même se trouvait partiellement recouverte en formation transgressive par la roche du toit qui, selon les cas, pouvait être représentée par un Gayet (Cannel-Coal ou Boghead), ou par des roches détritiques à grain fin dont les origines d'alluvionnement minéro-gène étaient situées vers la gauche à l'opposé des origines d'alluvionnement organogène.

#### FIG. 81<sup>t</sup>b. — Maximum de la subsidence lente (fin de la transgression) <sup>(1)</sup>

L'affaissement lent et progressif du sol a déterminé le déplacement de la zone côtière marécageuse boisée vers la droite et la formation continue de sols de végétation fossiles individualisés à partir de forêts fossiles détruites par l'inondation qui s'étendait de proche en proche.

C'est uniquement sur ces sols de végétation fossiles que s'accumulait, en formation transgressive, la Veine de houille qui représente les vestiges des végétaux qui ont abandonné leurs racines dans les dits sols de végétation fossiles <sup>(2)</sup>.

Au fur et à mesure que les débris végétaux s'accumulaient sur des aires de dépôt situées de plus en plus vers la droite, les alluvions végétales antérieurement formées se trouvaient recouvertes en formation transgressive par la roche du toit qui selon les cas était représentée par un gayet (Cannel-Coal ou Boghead) ou par une roche minéro-gène à grain très fin dont les éléments détritiques étaient amenés de la gauche vers la droite.

Dans ce cas, la houille s'est toujours accumulée sur des sols de végétation fossiles (murs à stigmaria) et les toits qui la recouvrent sont des sédiments d'eaux profondes c'est-à-dire des toits de gayet et les toits de schiste gris carbonatés à coquilles d'eau douce, les toits de schistes bitumineux à poissons et éventuellement les toits de schistes calcaires ou pyriteux à coquilles marines de M. CH. BARROIS. Ces roches de toit passaient progressivement vers la gauche à des sédiments dont les dimensions des grains croissaient au fur et à mesure que l'on se rapprochait de l'origine d'alluvionnement minéro-gène. Il se déposait ainsi successivement en des points de plus en plus proches de la rive de la lagune houillère opposée à celle représentée sur les figures 81<sup>t</sup> et 82<sup>t</sup>, des schistes fins, des schistes gréseux, des psammites et grès à grain fin, des grès, des cuevelles et des conglomérats, toutes roches essentiellement minéro-gènes très pauvres ou complètement dépourvues de débris végétaux.

#### FIG. 81<sup>t</sup>c. — Début de la période de régression Formation des toits d'eaux peu profondes

L'affaissement du fond de la lagune causé par la subsidence étant compensé par une érection des aires continentales, la fin de la transgression coïncide avec le début d'une période de régression qui détermine le déplacement de la rive et par conséquent de la forêt marécageuse de la droite vers la gauche. Il se formait ainsi à l'arrière de la forêt vivante des forêts fossiles et des sols de végétations fossiles, tandis que les débris végétaux entraînés vers le large par les vents et les courants donnaient naissance aux accumulations organiques, points de départ d'une deuxième veine de houille. Cette houille se dépo-

(1). Par suite d'un défaut dans le cliché la lettre « A » figure sur ce schéma 81<sup>t</sup>b à la place de la lettre « A' ».

(2). L'idée que dans le cas des subsidences la bouillie végétale se déposait très fréquemment sur un sol de végétation fossile avait déjà été émise par M. PAUL LECOMTE dans une note relative à la constance des sols de végétation sous les couches de houille ([386], p. 218, A).

sait en formation régressive sur un sol de végétation fossile (mur à *stigmara*), sur un gayet récemment individualisé, sur la houille de la veine n° 1 et enfin sur la roche de toit de cette dernière qui forme alors un sillon stérile entre les deux couches de houille assez rapprochées.

Des alternances de transgressions et de régressions expliqueraient ainsi ces faits d'observation si fréquents qui consistent dans la présence en plein charbon de couches de gayet ou de roches stériles divisant certaines veines de houille en plusieurs sillons.

L'accumulation des débris clastiques provenant du ravinement de l'aire continentale déterminait la formation également régressive de roches de toit qui recouvraient progressivement la houille récemment formée de la veine n° 2. Ces roches accumulées en eaux peu profondes correspondaient aux toits de grès (cuernelles), aux toits de psammites à plantes, aux toits de schistes à plantes et de schistes gris à plantes flottées de M. CH. BARROIS. Les éléments détritiques de ces toits provenaient non seulement du ruissellement, mais encore des apports des fleuves et des rivières qui donnaient naissance à des formations d'estuaires ou de deltas où la grosseur des grains et des débris clastiques pouvaient varier considérablement comme la puissance des couches elles-mêmes.

### Figure 82<sup>t</sup>

## Comblement de la lagune houillère et formation de sols de végétation fossiles par exondation puis par ennoyage au cours des subsidences brusques.

### FIG. 82<sup>a</sup>. — Maximum de la régression.

Lorsque la régression ébauchée sur la « Fig. 81<sup>c</sup> » se poursuivait pendant un laps de temps suffisant, la lagune houillère se comblant peu à peu, la forêt marécageuse se déplaçait progressivement de la droite vers la gauche en donnant naissance par exondation à des forêts fossiles dont la destruction aboutissait à la formation de sols de végétation fossiles (murs à *stigmara*) à la suite du ravinement par les eaux de ruissellement des dites forêts exondées. Pendant ce temps, la couche de houille continuait à se former en des points de plus en plus rapprochés de la zone centrale de la lagune houillère et à être progressivement recouverte par son toit d'eau peu profonde. Sur cette figure « 82<sup>a</sup> » qui indique seulement la topographie du fond de la lagune, cette veine de houille n'est représentée que dans les parties où elle est en voie de croissance.

Comme le montre la figure « 82<sup>c</sup> » cette veine de houille (Veine n° 1) passe sous la forêt vivante de la figure « 82<sup>a</sup> » et sous les roches qui ont été partiellement transformées en murs.

### FIG. 82<sup>b</sup>. — Effet d'une subsidence brusque.

La figure « 82<sup>b</sup> » représente le résultat d'une subsidence brusque provoquée, au moins en partie, par le poids des sédiments <sup>(1)</sup> accumulés au cours de la période de régression dont il vient d'être question. L'affaissement du sol a déterminé l'inondation des zones antérieurement exondées qui sont constituées presque uniquement par des sols de végétation fossiles et le retour de la rive au point B' voisin de la position initiale des figures « 81<sup>c</sup> » et « 82<sup>a</sup> ». La roche de toit d'eau profonde dont l'origine d'alluvionnement était représentée par la rive opposée de la lagune recouvrait en formation transgressive, la veine n° 1, la forêt vivante détruite par l'inondation et une partie du sol de végétation fossile récemment immergée.

Immédiatement après le maximum de subsidence la forêt marécageuse se réinstallait au voisinage du point B' et la régression se produisait à nouveau, les premiers dépôts constitutifs de la Veine n° 2 s'accumulant sur le sol de végétation fossile récemment inondé que recouvrait par place en formation régressive une mince couche lenticulaire de gayet.

### FIG. 82<sup>c</sup>. — Développement d'une deuxième régression.

La répétition sur une même verticale des faciès lithologiques est un fait d'observation courant qui conduit à admettre que les périodes de transgression (subsidences lentes ou brusques) étaient suivies de périodes de régressions qui tendaient à ramener la forêt marécageuse vers la zone centrale de la lagune houillère.

Au cours de cette régression la nouvelle veine formée (Veine n° 2) s'accumulait en formation régressive, surtout sur le sol de végétation fossile (mur à *stigmara*) inondé au cours de la subsidence brusque, puis sur la roche de toit d'eau profonde de la couche précédemment formée (Veine n° 1), cette accumulation se faisant suivant les cas, soit directement, soit avec interposition de gayet.

Cette nouvelle couche de houille (Veine n° 2) était elle-même recouverte en formation régressive par la roche de toit d'eau peu profonde, roche de toit dont les parties voisines de la rive étaient envahies par la forêt paludéenne.

Dans les six schémas explicatifs j'ai supposé pour simplifier l'exposé et la figuration que les mouvements de transgression et de régression, une fois commencés, restaient de même sens. En réalité, il est évident que les choses ne se passaient pas aussi simplement et que les grands déplacements de la ligne de rivage que j'ai décrits pouvaient comporter à certains moments des déplacements de sens contraire de courte durée. Dans ces conditions, une veine de houille formée au cours d'une transgression lente où les gayets existent normalement au toit peut contenir par place de la houille déposée pendant une courte régression et des lentilles de gayets régressifs disposés dans son épaisseur ou même dans le voisinage de son mur. Inversement, une couche de charbon individualisée durant une phase de régression et où les gayets, quand ils existent, s'intercalaient normalement entre la houille et le mur, peut contenir par place des sillons de houille et de gayet disposés dans sa masse ou même près de son toit et ayant pris naissance lors de transgressions passagères.

(1). Quant aux causes des affaissements lents ou brusques du sol de la lagune houillère, j'ai admis que conformément à des idées développées antérieurement par MM. PAUL LEMOINE [402] et PIERRE PRUVOST [498], elles devaient être recherchées, à la fois, dans l'instabilité du substratum profond et dans le poids des sédiments accumulés.

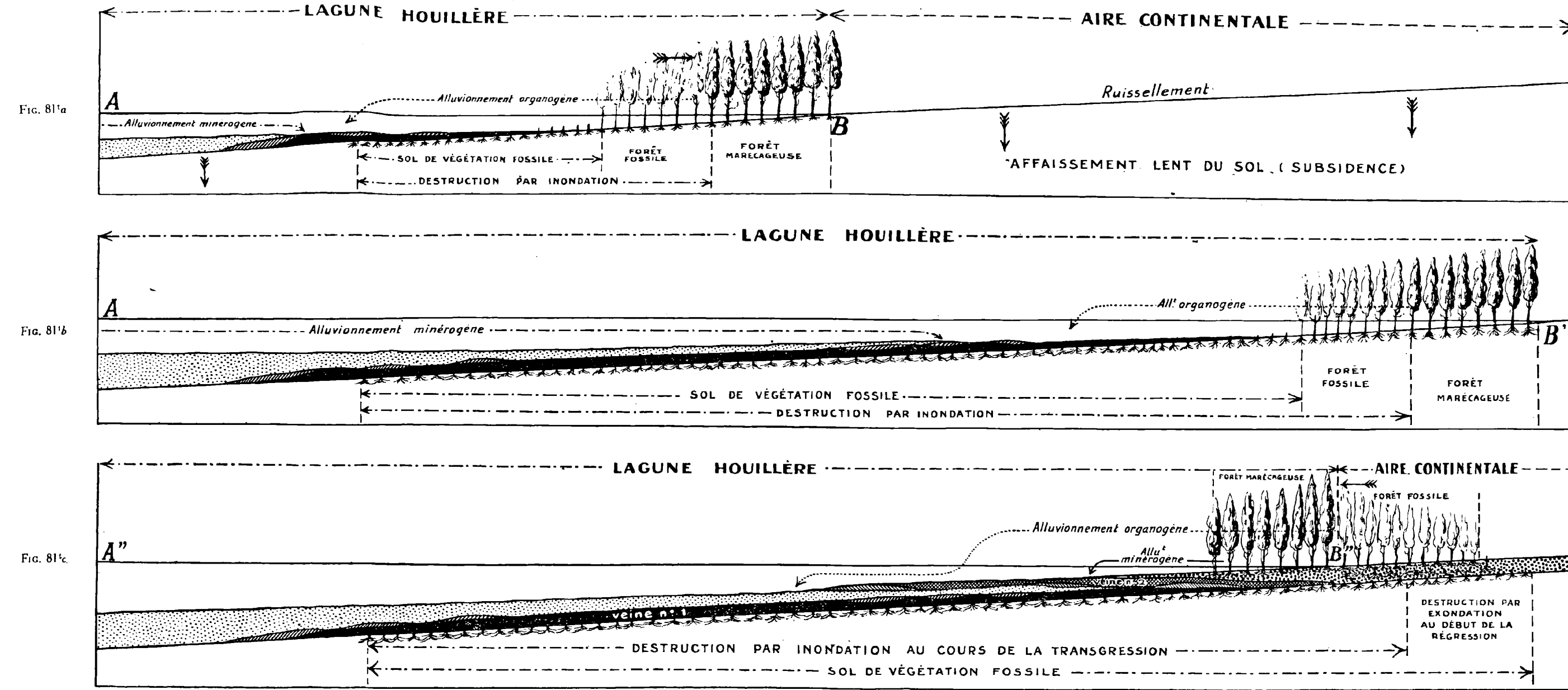


FIGURE 81'. — Genèse des sols de végétation fossiles (murs à stigmaria) par inondation progressive. — Formation transgressive d'une veine de houille sur des sols de végétation fossiles au cours d'une subsidence lente. Formation régressive d'une deuxième veine de houille au début d'une période de comblement de la lagune houillère.

Les six figures de la planche D représentent des coupes sensiblement Sud-Nord de la rive septentrionale du Bassin de sédimentation où s'accumulaient les sédiments houillers du Nord de la France (1). Dans un but de simplification, elles ne font intervenir que des origines d'alluvionnement minérogène supposant uniquement l'action de courants normaux aux rives de la lagune houillère qui peuvent seuls être représentés dans de telles coupes. Elles font abstraction des apports par des courants côtiers transportant les éléments détritiques amenés par les cours d'eau dont les embouchures constituaient des chenaux traversant la zone boisée marécageuse. La prise en considération de ces phénomènes plus complexes, qui ne peu-

(1). J'ai admis dans ce mémoire avec M. PAUL LECOMTE ([385bis], p. 185) que les forêts marécageuses se sont surtout développées sur la rive nord de la lagune houillère.

vent être figurés qu'en plan, ne modifie d'ailleurs en rien les localisations respectives des différentes roches dans les dits graphiques.

**Conclusions.**

Les différentes figures de la planche D qui ne mettent en jeu pour expliquer le mécanisme de la genèse des couches de houille et de roches adjacentes que les phénomènes de transgression et de régression tels qu'ils se développent dans n'importe quelle formation géologique montrent :

1° Que dans tous les cas, aussi bien au cours des transgressions que des régressions, il se formait de façon continue des sols de végétation fossiles (murs à stigmaria) aux dépens de forêts fossiles dont les arbres périsaient, soit à la suite d'inondations lentes ou brusques, soit par exondation progressive.

**LÉGENDE**

- Houille formée au cours d'une transgression.
  - Houille formée au cours d'une régression.
  - ▨ Gayet formé au cours d'une transgression.
  - ▨ Gayet formé au cours d'une régression.
  - ▤ Toit d'eau profonde formé au cours d'une transgression.
  - ▤ Toit d'eau peu profonde formé au cours d'une régression.
  - ▥ Sol de végétation fossile. (mur à stigmaria)
- A B } Surface de l'eau  
A' B' }  
A'' B'' }

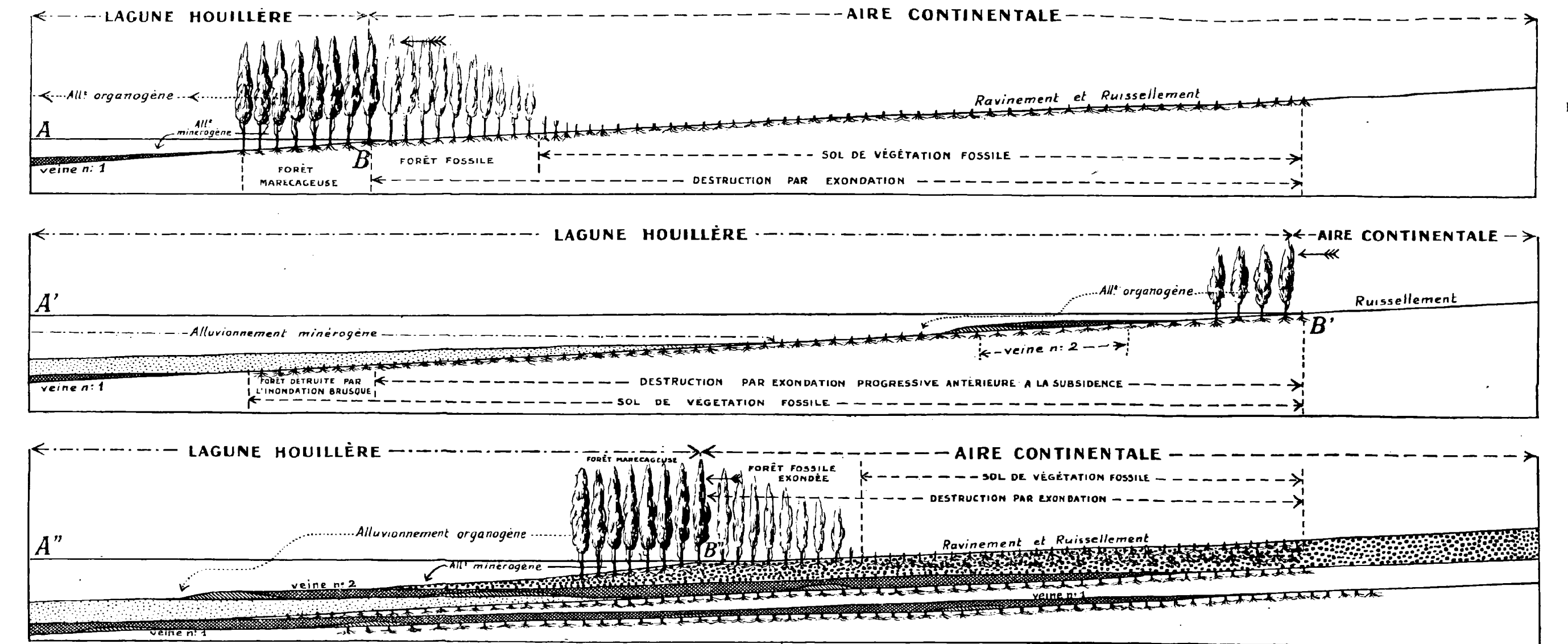


FIGURE 82'. — Genèse des sols de végétation fossiles (murs à stigmaria) par exondation progressive au cours d'une période de régression. Formation régressive de veines de houille sur des sols de végétation fossiles au cours de périodes de comblement de la lagune houillère consécutives à des phénomènes de subsidence brusque.

2° Que dans la plupart des cas l'alluvion végétale génératrice d'une couche de houille s'accumulait sur un sol de végétation fossile inondé.

3° Que les couches de houille en voie de croissance étaient toujours recouvertes assez rapidement, soit par de nouveaux lits d'alluvion végétale, soit par la roche de leur toit ; circonstances qui favorisaient la fossilisation des débris végétaux par l'arrêt relatif précoce des actions microbiennes.

4° Comment les forêts fossiles détruites par exondation (Fig. 81'c ; 82'a et c) fournissaient les débris ligneux que l'on retrouve à l'état de Fusain (bois transformé en houille mate fibreuse), tandis que les forêts fossiles antérieures par les inondations lentes ou brusques (Fig. 81'a et b et 82'b) contribuaient, avec les arbres abattus vivants par les tempêtes, à l'apport de débris de bois susceptibles de subir des gélifications plus ou moins accentuées (Xylovitrain et Xylain).

Enfin ces figures montrent en outre :

5° Que c'est précisément au cours des périodes de subsidences lentes, où la veine de houille se déposait constamment en formation transgressive sur un sol de végétation fossile (mur à stigmaria), que les conditions les plus favorables à la genèse de com-

bustibles très purs et de couches importantes se trouvaient réalisées, car dans ce cas, où l'aire continentale était progressivement envahie par l'inondation, les apports minérogènes du fait de la rive marécageuse boisée étaient pratiquement nuls et la lenteur de la transgression permettait l'accumulation en un point donné d'alluvions végétales plus épaisses.

En dernière analyse, la présence quasi constante sous les couches de houille exploitées de murs à stigmaria est due au fait que ces veines de houille importantes et régulières ont pris naissance au cours de phénomènes de transgression lente (subsidences lentes).

Pendant les périodes de régressions (comblement progressif de la lagune houillère) une sédimentation terrigène mixte, à la fois organogène et minérogène et d'allure plus rapide, ne permettait que le dépôt de minces passées, de couches de houille cendreuse ou beaucoup moins régulières et peut-être dans bien des cas de schistes charbonneux.

Des alternances de régressions et de transgressions expliquent, d'autre part, la division en sillons de certaines veines, la présence dans leur masse de sillons stériles transformés parfois en sols de végétation fossiles et l'existence de couches lenticulaires de gayet aussi bien au toit, dans la masse du charbon ou à la base des couches de houille entre la houille et son mur à stigmaria. Elles expliquent également l'accumulation de gayet sur de tels murs.



terrigènes et la largeur relativement faible du bassin de sédimentation indiquent que ce dernier n'était jamais très profond et que dans ces circonstances les amplitudes des mouvements négatifs brusques étant liées aux épaisseurs de sédiments accumulés entre chacun d'eux, le jeu des subsidences brusques successives devait entraîner la répétition sur un certain nombre de points d'une même verticale de conditions de sédimentation semblables. Il est, en effet, évident que lorsqu'une subsidence s'est produite au moment où le comblement du bassin de sédimentation étant plus accentué la rive et la forêt marécageuse étaient voisines de son axe, si cette subsidence avait une valeur de même ordre que la précédente, les sols de végétation en activité ou devenus fossiles par exondation formaient la majeure partie du fond de la lagune houillère ainsi rajeunie et pouvaient devenir les lieux d'accumulation d'une nouvelle couche de houille et d'autres sédiments minérogènes, organogènes ou mixtes (Pl. D, Fig. 82<sup>t</sup>, c).

Cette même notion rend bien compte de la fréquence des sols de végétation fossiles, fréquence qui, comme l'a montré GRAND'EURY, est bien plus grande que celle des couches de houille.

En dernière analyse, *le simple jeu des subsidences* permet d'expliquer *l'existence et la fréquence des sols de végétation fossiles autochtones sous beaucoup de veines de houille* et l'accumulation de n'importe quelle roche houillère sur ces mêmes murs à *stigmaria*.

## II

### Superposition des divers types de sédiments houillers

#### Leurs variations d'épaisseur.

Il est vraisemblable que les effets des subsidences brusques tout en restant de même ordre, comme je l'ai admis précédemment, présentaient en valeur absolue des variations d'intensité qui font qu'en réalité les différents points qui marquent sur une même verticale les intersections de cette droite avec les fonds successifs de la lagune houillère pouvaient se trouver placés dans des conditions de sédimentation assez différentes, définies elles-mêmes par la profondeur d'eau, la distance à la rive, l'absence ou l'importance des courants, etc...

De plus, au cours des transgressions consécutives aux subsidences lentes, les couches stériles formées devaient être plus minces et plus étendues que celles accumulées au cours des périodes de complements qui faisaient suite aux transgressions rapides (subsidences brusques).

Ces variations fréquentes dans les conditions de sédimentation expliquent par un mécanisme trop bien connu pour qu'il soit nécessaire de l'exposer ici, la superposition des divers types de sédiments houillers et leurs variations d'épaisseur.

J'ai tenu à rappeler pour mémoire les considérations précédentes de façon à insister sur ce fait *que la seule notion de subsidence*, aujourd'hui universellement admise dans le domaine que je viens de citer et devenue en quelque sorte classique, *suffit pour expliquer la présence des murs à « stigmaria » autochtones sous les sédiments allochtones que sont les veines de houille* formées par flottage en eau tranquille des débris des végétaux houillers aussi bien que les variations d'épaisseur des roches stériles.

### Conclusions du Chapitre vingt-cinquième.

En résumé, alors que la théorie autochtone (théorie du tourbage) ne peut expliquer la superposition des divers types de sédiments houillers qu'en introduisant la notion particulière aux formations du houiller productif des deux cycles de sédimentation, la théorie allochtone que j'ai proposée (théorie du flottage) *permet de rendre compte des mêmes faits en ne faisant intervenir que les lois générales de la sédimentation* qui s'appliquent aussi parfaitement aux bassins houillers qu'aux autres bassins sédimentaires.

*La seule notion de subsidences* revêtant alternativement le caractère de phénomènes lents et progressifs, d'une part, et de phénomènes brusques, d'autre part, *suffit pour expliquer la présence de houille allochtone sur des sols de végétation qui représentent des formations éminemment autochtones.*

Ainsi en un lieu donné :

*L'installation de la forêt marécageuse sur la roche du mur d'une veine de houille* correspond, comme tout le monde l'admet, au moment où le phénomène d'alluvionnement était maximum et les eaux les plus basses.

*Le dépôt du lit inférieur de la veine de houille* correspond dans certains cas au développement d'une transgression, puisque le sédiment d'eau assez profonde qu'est la roche combustible s'accumulait directement sur une zone côtière récemment immergée. Dans d'autres circonstances, au contraire, ce dépôt marque le début d'une régression consécutive à des phénomènes d'alluvionnement faisant suite à une subsidence brusque.

*La veine de houille elle-même* s'est individualisée, soit au cours d'une *régression*, soit au cours d'une *transgression* suivant que les phénomènes de comblement de la lagune, d'une part, et les phénomènes de subsidence lents et progressifs, d'autre part, l'emportaient dans un sens ou dans l'autre au point envisagé.

*Le toit de la veine* représente, soit la phase maxima de la transgression (toits d'eaux profondes), soit le développement progressif de la régression (toits d'eaux peu profondes).

Tout ceci s'accorde parfaitement avec l'observation que c'est au toit de certaines veines et seulement en ce point qu'apparaissent les faciès marins, c'est-à-dire les traces des subsidences maxima. De tels toits, comme M. BARROIS l'a indiqué et comme cela a été vérifié dans tout le bassin anglo-westphalien, sont les dépôts les plus étendus en surface et les plus constants de toutes les formations houillères.

Les veines de houille de quelque importance ont donc pris naissance pendant des périodes de régression ou au cours des transgressions lentes, car dans le cas d'une transgression rapide la veine était mince et pouvait même faire complètement défaut (cas des couches à toit marin ou à toit de schiste bitumineux). Aussitôt atteint le maximum d'affaissement, les phénomènes de comblement de la lagune reprenaient et aboutissaient finalement au retour de la forêt marécageuse au lieu envisagé, où se formait alors un nouveau sol de végétation.

## CHAPITRE VINGT-SIXIÈME

## Genèse du Fusain et des débris de tissus ligneux gélifiés des houilles et des autres roches houillères

### La question des troncs d'arbres debout.

#### PLANCHE D

##### SOMMAIRE

- I. — LA QUESTION DES TRONCS D'ARBRES DEBOUT. — A. — *Caractères morphologiques et origine des troncs d'arbres debout.*  
— a) Mode de gisement des troncs d'arbres des toits. — b) Mode de gisement des troncs d'arbres des murs.  
— B. — *Existence de troncs d'arbres debout au toit de couches de houilles allochtones.* — C. — *Mécanisme du transport des tiges et des souches d'arbres à l'époque houillère.* — a) Abatage et chute des arbres houillers. — b) Transport des arbres houillers.
- II. — GENÈSE DES DÉBRIS DE TISSUS LIGNEUX. — A. — *Origine des débris de tissus ligneux des houilles et des autres roches houillères.* Morcellement des écorces des arbres houillers. — B. — *Modes de formation des divers types de tissus ligneux fossilisés.* — a) Genèse des débris ligneux partiellement ou complètement gélifiés. — b) Genèse du Fusain.

Une des questions les plus discutées, ayant fait l'objet de solutions opposées invoquées respectivement par les « allochtonistes » et les « autochtonistes » à l'appui de leurs théories, est certainement *celle de l'origine des troncs debout* que l'on rencontre assez fréquemment dans les toits de certaines veines.

Les deux thèses opposées peuvent se résumer brièvement de la façon suivante. Tandis que les partisans de la formation sur place, qui admettent par ailleurs que tous les autres éléments des toits sont allochtones, estiment que la plupart des troncs debout des toits sont en place, ont été fossilisés là où ils ont vécu et représentent les derniers individus de la forêt houillère génératrice de la couche de houille ; les partisans de la formation par transport admettent, au contraire, qu'ils ont été charriés par les eaux avant d'échouer là où nous les trouvons actuellement.

Cette controverse ne présente en réalité, comme nous le verrons bientôt, qu'un intérêt très limité au point de vue de la genèse des couches de houille. Cependant, comme leur existence a été fréquemment invoquée comme un argument en faveur de la théorie du tourbage, je me vois forcé de la résumer ici où son étude me permettra, du reste, d'expliquer la formation du Fusain et des tissus ligneux gélifiés des houilles et des roches stériles.

## I

## LA QUESTION DES TRONCS D'ARBRES DEBOUT

A. — Caractères morphologiques et origines des troncs debout  
des toits et des murs.

Tout d'abord, il n'est pas douteux que certains troncs debout enlisés dans les stériles ont une origine allochtone. Les expériences de H. FAYOL ont montré que les tiges transportées par les eaux pouvaient prendre dans les sédiments artificiels toutes les positions de l'horizontale à la verticale et ses observations, comme celles de M. X. STAINIER, ne permettent pas d'attribuer une autre origine aux troncs debout des sédiments grossiers (grès ou conglomérats) et surtout aux arbres qui ont été enlisés la tête en bas, les racines dirigées vers le haut. Ces faits ne sont d'ailleurs pas contestés par les partisans de la théorie du tourbage et je me bornerai à les rappeler brièvement.

Par contre, les troncs debout des toits à végétaux bien conservés et couchés à plat, tels que ceux que M. Charles BARROIS a décrits dans les concessions de Lens et de Liévin <sup>(1)</sup>, sont, au contraire, considérés comme ayant été fossilisés *in loco natali* ; fait interprété comme favorable à l'hypothèse autochtone. La solution de cette question est rendue difficile par le fait que leur origine véritable ne peut être mise en évidence par des preuves positives, mais doit être déduite de simples présomptions <sup>(2)</sup>.

Cependant, il semble bien que si l'on se livre à une étude comparative des caractères paléontologiques des toits et des murs des couches de houille, au lieu de se borner à étudier le mode de gisement des troncs debout des toits comme on l'a fait jusqu'ici, l'on peut tirer comme conséquences des présomptions bien établies en faveur de l'origine allochtone et du transport de la plupart des troncs debout des toits de quelque nature qu'ils soient.

C'est pour cette raison que j'étudierai successivement le gisement et les caractères des troncs debout et des débris de troncs des toits et des murs.

## a. — Modes de gisement des troncs debout des toits.

Les toits ne renferment pas que des troncs debout, on y rencontre en bien plus grande abondance, à côté des empreintes de feuilles, de branches et de rameaux, de nombreux troncs d'arbres couchés et généralement aplatis. Le plus souvent, le cylindre central ayant complètement

(1) CHARLES BARROIS. — [25].

(2) Ceci résulte implicitement d'une conclusion donnée par M. A. RÉNIER qui s'exprime de la façon suivante ([531], p. 307) : « Telles sont les remarques que m'a suggérées la lecture de ces divers travaux. Elles me portent à croire que pour aucun des cas signalés jusqu'ici hormis peut-être celui de Monceau-Fontaine, on ne possède aucun fait établissant à l'évidence qu'il s'agit de troncs charriés. Dans ces conditions, l'opinion que j'ai été conduit à admettre pour expliquer l'origine de l'arbre du toit de Broze n'est pas en contradiction avec les faits observés jusqu'ici. »

Comme on le voit le distingué géologue belge a dû se contenter de preuves essentiellement négatives.



disparu, les parois de l'écorce sont étroitement accolées, le fossile affectant la forme d'une lame à bords tranchants. Dans certains cas, l'aplatissement est moins accentué, le cylindre central ayant été partiellement remplacé par la boue argileuse génératrice du schiste encaissant. *Fait très important à noter : ces axes végétaux aplatis et couchés correspondent toujours à la partie terminale ou à la zone médiane des troncs d'arbres dont ils dérivent.* Les parties des troncs voisines de la base et portant les racines ou les organes en tenant lieu (rhizophores) ne se présentent que très rarement à cet état.

Les troncs debout des toits méritent d'être décrits soigneusement. Tout d'abord, le qualificatif de « *tronc debout* » est plutôt impropre comme l'a fait très justement remarquer M. X. STAINIER, car la plupart de ceux qui ont été observés dans notre bassin houiller et dans les bassins belges devraient plutôt être désignés par le terme de « *souches debout* ». Ils sont en effet presque toujours constitués par la base des arbres houillers brisés à une assez faible hauteur des points d'insertion des racines. Les troncs debout longs de plusieurs mètres, comme celui décrit par M. X. Stainier [595] au charbonnage d'Oignies-Aiseau, sont très rares. Le plus souvent, ces fossiles de grande taille sont réduits à la partie conique de l'extrême base des troncs ; ils présentent une section cylindrique, leur cylindre central détruit ayant été remplacé par un remplissage de boue argileuse, tandis que leur écorce transformée en charbon généralement brillant <sup>(1)</sup> constitue un joint fragile qui rend très précaire leur adhérence avec la roche du toit ; de sorte que leurs *formes coniques* généralement assez accentuées aidant, ils tombent facilement dès que leurs bases se trouvent dégagées dans une galerie. Ils constituent un danger pour les mineurs qui les désignent sous les noms de *Cloches* en France et en Belgique, de *Coal pipes* (tubes charbonneux) en Angleterre et de *Sargdeckels* (couverts de cercueils) en Allemagne <sup>(2)</sup>.

Comme l'a fait également remarquer M. X. Stainier [595 et 600 bis], ces masses troncs-coniques trapues ne portent que des *moignons de racines* généralement fort courts <sup>(3)</sup>. Ces racines étant très divergentes et s'étalant dans des plans très peu inclinés et presque parallèles au plan horizontal dans l'arbre vivant, il n'est pas étonnant que la base des troncs apparaisse sous forme d'une surface onduleuse tronquant brusquement le fût cylindro-conique.

Des observations précises mettent donc en évidence que la plupart des troncs debout des toits ne représentent pas des troncs d'arbres entiers, mais des *bases de troncs amputés à la fois de leurs parties supérieures et de leurs racines*. En dernière analyse, les troncs debout des toits ne sont que des *fragments de végétaux* comme les troncs couchés, les tiges, les branches et les feuilles étalés dans les schistes ou les grès, et l'on arrive à cette conclusion qu'en règle générale les parties supérieures des fûts se retrouvent dans les toits couchés et aplatis, *tandis que les souches pourvues seulement de moignons de racines existent dans ces mêmes toits à l'état de troncs debout*.

(1) Il s'agit ici de la variété de houille brillante d'origine ligneuse que j'ai désignée dans mes travaux antérieurs sous le nom de Xylovitrain. Les écorces des arbres houillers étaient riches en fibres sclérisées constituées par de la lignine.

(2) J. CORNET. — [137], § 1.100.

(3) J'insiste ici sur le fait que les racines ou pseudo-racines (rhizophores) des troncs debout des toits sont réduites à des moignons généralement fort courts. De nombreux exemples de troncs debout trouvés dans les toits des veines et amputés de la presque totalité de leurs racines ont été décrits et figurés récemment par M. X. STAINIER [600 bis].

### b. — Modes de gisement des troncs d'arbres des murs.

Les troncs debout que l'on peut observer dans les murs des couches de houille présentent cette analogie d'être toujours arasés par la surface de la couche de charbon ou même le plus souvent à l'approche de la couche de houille <sup>(1)</sup> suivant un joint de stratification, ils se distinguent des troncs debout des toits par un caractère essentiel, *celui de se trouver en rapport avec des stigmata*. Dans les murs les souches décapitées de la majeure partie du fût aérien sont donc restées fixées à leurs racines, *caractère qui apparaît comme étant la seule preuve positive permettant d'affirmer qu'une souche est réellement en place* <sup>(2)</sup>.

Un autre caractère des souches enracinées dans les murs, qui a une importance considérable, est *leur rareté relative comparée à une certaine fréquence* des troncs debout existant dans les toits.

Cette rareté relative résulte du fait que l'on retrouve beaucoup plus souvent dans les murs, à côté des radicules <sup>(3)</sup>, des *stigmata isolés* dont les souches correspondantes ont par conséquent disparu et de cette affirmation maintes fois répétée que *les troncs debout sont beaucoup plus fréquents dans les toits que dans les murs* <sup>(4)</sup>.

Comme on ne peut invoquer la destruction sur place des masses importantes des troncs alors que les stigmata et leurs fines radicules sont parfaitement fossilisées, la rareté relative des troncs enracinés ou troncs debout dans les *sols de végétation* que sont les murs à racines ne peut s'expliquer qu'à la condition que *l'on admette que beaucoup de souches déracinées ont été transportées ailleurs*.

De l'étude comparée des modes de gisement et des caractères respectifs des troncs debout dans les toits et dans les murs des couches de houille on peut donc tirer les conclusions suivantes.

1° — De la rareté relative des souches ou troncs debout enracinés dans les murs et de la fréquence des stigmata qui ne sont que les appendices radiculaires de souches analogues, on doit déduire que toutes les souches correspondant aux végétaux arborescents de la forêt houillère ne se retrouvent pas dans les sols de végétation fossiles. *On est alors obligé d'admettre que beaucoup de ces souches (bases des troncs avec insertion de racines) étaient arrachées du sol et entraînées au loin par les eaux*.

La même conclusion s'impose pour les *parties moyennes et supérieures* des troncs dont on retrouve les souches enracinées dans les murs à stigmata. Le fait que ces parties des arbres houillers ne sont pas associées à ces souches dans les murs indique bien qu'elles étaient normalement entraînées plus loin par des agents de transport et dispersées sur des aires de dépôt différentes de celles où croissait la forêt marécageuse.

(1) GASPAR SCHMITZ. — [547], p. 261.

(2) Ce sont de telles souches avec stigmata provenant des murs de veines de houille que l'on peut admirer au Musée de l'Ecole des mines de Berlin, au Musée de Manchester, au Musée houiller de Louvain, à l'Ecole des Mines de Mons et au Musée houiller de Lille.

(3) Il est intéressant de noter ici qu'à côté des murs sans fossiles dont parle J. CORNET, il existe des murs surtout constitués par des grès où les radicules de stigmata deviennent elles-mêmes rarissimes. De tels murs ont été décrits par M. X. STAINIER [594] dans une étude des variations de la roche du mur de la Veine Lambiotte au charbonnage de Falisolle.

(4) A ce sujet J. CORNET s'exprime de la façon suivante ([137] § 1.100) : « Mais les exemples de troncs debout restés engagés dans les roches encaissantes sont relativement communs, surtout dans les toits des couches de houille »

2° — Les souches (troncs debout) des toits et des murs présentent des caractères essentiellement différents, Dans les deux cas elles sont souvent arasées assez bas et dépourvues des parties moyennes et terminales de leur fût, mais dans les toits elles sont en règle générale *amputées de leurs racines* (stigmaria), caractère qui est suffisant pour permettre d'affirmer que la *plupart* des troncs debout des toits ne sont pas conservés *in loco natali* <sup>(1)</sup>, mais ont subi, comme tous les autres éléments des schistes ou des grès (troncs couchés, tiges, branches, feuilles, etc...), un certain transport par flottage dans l'eau.

Ce caractère allochtone des troncs debout des toits ne peut être nié par les partisans de la théorie autochtone qui admettent que les *troncs couchés et aplatés*, d'une part, et les *stigmaria ou radicelles de stigmaria*, d'autre part, ont dans les toits *la même origine allochtone* <sup>(2)</sup> que les branches et les feuilles étalées entre les feuillettes de la roche. Dans ces conditions, le fait d'admettre que les phénomènes de transport ont pu affecter les parties supérieures des troncs et les racines terminales *implique forcément* que ces mêmes phénomènes ont pu jouer un certain rôle en ce qui concerne les parties médianes, les souches à moignons de racines intercalés dans l'arbre à l'état vivant entre les éléments précédents.

Cette identité d'origine des troncs debout de certains toits et des troncs couchés a du reste été mise en évidence depuis longtemps par G. SCHMITZ [547] qui a décrit et figuré des *souches debout reposant sans aucune interposition sur des tiges couchées et aplaties*.

3° — Le fait que beaucoup de souches ont été arrachées des murs et y ont abandonné leurs *stigmaria explique*, d'une part, *la rareté de ces derniers fossiles dans les toits* et, d'autre part, *la fréquence relative, dans ces mêmes formations, des troncs debout ou souches amputées de leurs racines*.

La coordination de connaissances aujourd'hui classiques et admises par tous, y compris les partisans de la théorie autochtone, permet donc d'affirmer avec M. X. STAINIER que la grande majorité des troncs debout des toits des veines de houille ont, comme tous les autres éléments de ces roches, une origine allochtone <sup>(3)</sup>.

## B. — Existence de troncs d'arbres debout au toit de couches de houilles allochtones.

J'ai dit précédemment que me ralliant à l'opinion de M. X. STAINIER, j'admettais que la plupart des troncs debout des toits des veines de houille ont été charriés par les eaux et ont une origine allochtone au même titre que les autres éléments végétaux de ces roches (troncs couchés

(1) Je tiens à bien spécifier ici que cette conclusion ne s'applique qu'aux souches debout des toits, des veines de houille. Elle ne vise en aucune façon les arbres debout isolés ou formant de véritables forêts fossiles dans les stériles dont la fossilisation *in situ*, là où ils ont vécu, est prouvée par la présence de leurs racines.

(2) JULES CORNET a écrit à ce sujet ([137], § 1093. — La formation des charbons et des pétroles, p. 57) : « Quand par exception le toit renferme des *stigmaria*, ces fossiles y sont incomplets, sans radicelles, ou bien ce sont des fragments isolés de radicelles ».

Naturellement cette observation de J. CORNET ne vise que les *stigmaria* des toits francs et ne s'applique en aucune façon aux *stigmaria en place* des toits qui, comme l'a montré M. A. RÉNIER, sont devenus par la suite des sols de végétation (murs à *stigmaria*).

(3) M. X. STAINIER a été l'un des rares géologues qui continua à soutenir la théorie allochtone de la formation de la houille et à admettre que la plupart des troncs debout des toits ont été charriés. Il a publié sur cette dernière question de nombreux mémoires très intéressants dont les principaux figurent parmi ceux rappelés dans l'index bibliographique sous les numéros [591] à [602<sup>bis</sup>].

et aplatis, tiges, branches, feuilles, et éventuellement, *stigmaria* et racelles de *stigmaria*). M'associant également aux conclusions du distingué professeur de l'Université de Gand, je m'empresse d'ajouter qu'en m'exprimant ainsi je n'ai nullement la prétention d'affirmer qu'il n'existe pas de troncs debout fossilisés *in loco natali* dans certains toits de nos veines de houille.

Dans le développement qui va suivre, je démontrerai que de telles souches en place, si elles existent, ne constituent pas l'argument péremptoire en faveur de la théorie de la formation sur place qu'on a prétendu utiliser.

Cette preuve peut être très facilement faite en coordonnant les résultats des études de M. CH. BARROIS sur les troncs debout du houiller français avec les faits désormais acquis grâce aux recherches microscopiques sur la structure des houilles.

Dans deux mémoires publiés dans les *Annales de la Société Géologique du Nord* ([11] et [25]), M. CHARLES BARROIS a décrit des troncs debout observés au toit de veines de houille des concessions de Bruay, de Lens et de Liévin en étudiant les variations de la nature des roches de ces mêmes toits.

La plupart des veines citées appartiennent au *faisceau de Dusouich* (faisceau médian de l'assise de Bruay) dont les caractères microscopiques des différentes veines sont aujourd'hui connus. J'ai étudié, en effet, dans toute son épaisseur en chaque point de prise la *Veine Dusouich*, qui donne son nom au faisceau, dans les concessions de Béthune, de Courrières et surtout dans toute l'étendue des concessions de Lens et de Liévin. D'autre part, les principales veines de ce faisceau (Frédéric, Alfred, Léonard, Auguste à Liévin, 5<sup>me</sup> Veine à 7<sup>me</sup> Veine à Bruay) ont été examinées avec le même soin et étudiées du toit du mur <sup>(1)</sup>.

Toutes ces veines riches en matières volatiles présentent, *sans aucune exception*, le caractère d'être constituées principalement par des *accumulations de microspores* auxquelles viennent s'ajouter des *macrospores* ou des *cuticules* associées ou isolées. Les tissus ligneux y sont rares et leur rôle peut être considéré comme négligeable. Toutes appartiennent donc à la classe des *houilles de cutine* et à l'un des deux types des *charbons de macrospores* ou des *charbons de cuticules*, houilles qui présentent avec les Cannel-Coals ces caractères communs d'être très compacts et de *dériver essentiellement d'accumulations de microspores*. Comme les Gayets, qui sont du reste fréquents dans cette série sédimentaire <sup>(2)</sup>, ces veines de houille sont de celles dont l'*origine allochtone* ne peut être suspectée, car une fois leur structure mise en évidence elles se rangent parmi les roches dont les partisans de la théorie de la formation sur place eux-mêmes ne nient point la formation par transport.

On peut donc conclure que même en admettant que les troncs debout de ces veines soient en place et fossilisés là où ils ont vécu, leur présence aux toits des veines en question ne prouve aucunement l'origine autochtone de ces mêmes veines, puisque dans l'ensemble des trois concessions de Bruay, Lens et Liévin *toutes ces veines ont des origines incontestablement allochtones; tous leurs débris végétaux (microspores, macrospores, cuticules) ayant subi un transport par les vents ou par les eaux* <sup>(3)</sup>.

(1) Voir: Livre premier, Chapitre XVIII<sup>e</sup>.

(2) Les gayets des veines Édouard et Léonard sont célèbres dans le Bassin houiller du Pas-de-Calais.

(3) Je rappellerai ici pour mémoire que toutes les veines de houille à hautes teneurs en matières volatiles (plus de 26%) que j'ai étudiées jusqu'ici sont, quelles que soient leurs provenances, des charbons de cutine ayant une origine allochtone.

Mes recherches lithologiques m'ont donc permis d'établir que la seule conclusion que l'on puisse tirer des troncs debout du toit des veines du faisceau de Dusouich, en les supposant en place, est que, comme l'a très bien montré M. A. RÉNIER <sup>(1)</sup>, toute roche houillère peut avoir été, suivant son expression, *métamorphosée* en mur. La houille roche incontestablement allochtone, comme les schistes et les grès, ne ferait pas dans ce cas exception à cette règle.

Cette conclusion ne présente par contre aucun intérêt au point de vue de la genèse de la couche de houille elle-même.

### C. — Mécanisme du transport des tiges et des souches d'arbres à l'époque houillère.

Si j'ai traité assez longuement cette question des arbres debout du toit et de leur origine, ce n'est pas uniquement dans le seul but de démontrer que l'argument invoqué par les partisans de la théorie de la formation sur place est insuffisant.

Cette question, en effet, me conduit naturellement à en aborder une autre *encore très controversée, celle de l'origine et du mode de formation du Fusain*. Pour cela j'étudierai successivement le mécanisme du transport des troncs d'arbres et de leur souche et la genèse des corps figurés lignifiés des houilles (Fusain et bois gélifiés).

L'abatage et le transport des tiges <sup>(2)</sup> et des souches des arbres houillers sont des faits incontestables mis en évidence par les observations suivantes.

$\alpha$  — Beaucoup de souches ont disparu des murs et n'y ont laissé que leurs appendices radiculaires (*stigmaria*) et leurs radicelles, d'une part, tandis que, d'autre part, les souches restées en place en rapport avec leurs *stigmaria* ont été arasées ou coupées à faible distance de leur base, leurs parties supérieures ayant été enlevées.

$\beta$  — Les tiges et les souches arrachées aux murs se retrouvent dans les toits où leur présence ne peut s'expliquer que par leur transport (flottage) dans les eaux de la lagune houillère.

Pour expliquer ces faits, j'examinerai successivement les conditions d'abatage ou de chute des arbres houillers et les conditions de leur transport.

#### a. — Abatage et Chute des arbres houillers.

Tout d'abord, il est évident que l'abatage ou la chute des arbres houillers, soit après leur mort, soit en pleine vie, abatage ou chute dont les causes pouvaient être fort différentes <sup>(3)</sup>, était nécessairement influencé par la nature des végétaux. Il tombe en effet sous le sens que les

(1) ARMAND RÉNIER. — [531]. Voir en particulier les conclusions du premier chapitre du mémoire p. M. 280 et les pages précédentes.

(2) J'utiliserai désormais le mot tige pour désigner les parties moyennes et supérieures des troncs d'arbres, le mot souche sera, au contraire, réservé à la partie tout à fait inférieure des troncs souvent garnie de moignons de racines.

(3) Il est évident que ces causes pouvaient être multiples. L'action des vents lors des tempêtes et celles d'eaux rapides lors des crues pouvaient provoquer la destruction de nombreux arbres houillers. Pour ne pas compliquer inutilement l'exposé ce sont les deux seules causes que je ferai intervenir ici. Il est du reste très probable que ce sont elles qui, en s'ajoutant aux nombreux cas de mort naturelle, ont joué le principal rôle dans le phénomène.

*calamites* à tiges articulées devaient plus facilement se diviser en tronçons que les *Sigillaires* ou les *Lépidodendrons*, et que l'existence d'une seule racine pivotante chez les premières devait permettre leur arrachement total alors que ce même arrachement était beaucoup plus malaisé dans le cas des *Lepidophytes* (*Sigillaires*, *Lépidodendrons*) à racines divergentes et ramifiées par dichotomie. C'est pour cette raison que beaucoup de tiges de *calamites* déracinées se terminent en pointe comme celle représentée par M. P. BERTRAND <sup>(1)</sup>.

Cette distinction une fois faite, je n'envisagerai dans le développement qui va suivre qu'un seul cas, celui de l'abatage des arbres houillers appartenant au groupe des *Lycopodiacées arborescentes* (*Sigillaires*, *Lépidodendrons*) pour la double raison que ce sont elles qui ont joué le principal rôle dans la formation des houilles du Nord de la France, <sup>(2)</sup> d'une part, et que, d'autre part, les fossiles caractéristiques des sols de végétations ou murs à racines sont presque uniquement les appareils radiculaires (*Stigmaria* et leurs radicules) de ces végétaux.

Ces *Lycopodiacées arborescentes* dont les types les plus communs sont les *Sigillaires* et les *Lépidodendrons* étaient des arbres géants dont les troncs simples ou ramifiés atteignaient fréquemment 25 et 30 mètres de hauteur et s'évasaient à leur base où s'inséraient un petit nombre de grosses racines se ramifiant par dichotomie et s'étalant à peu près horizontalement à la surface du sol de végétation. Ce sont les parties terminales non ramifiées de ces racines qui avaient reçu le nom de *Stigmaria* <sup>(3)</sup> et été décrites comme organismes indépendants. Ces *stigmaria* plus ou moins enfoncées dans la vase portaient des radicules très grêles et très nombreuses.

On a souvent insisté sur le fait que les axes *stigmariens* horizontaux ou très faiblement inclinés s'enfonçaient à peine dans la vase qui constituait les sols de végétation et souvent rampaient à sa surface ; caractère qui pourrait faire croire que les arbres houillers reposaient plutôt sur leur appareil radiculaire très étendu, leur fixation au sol étant au contraire très précaire. Il ne faut pas réfléchir bien longtemps pour se rendre compte qu'une telle conception est entièrement fautive, car elle est en contradiction avec les lois les plus élémentaires de la dynamique. En effet, il est absolument inadmissible que des fûts hauts de 25 et 30 mètres aient pu se maintenir debout sans être solidement arrimés au sol, car ils constituaient un *bras de levier gigantesque* et auraient alors été abattus par l'action du moindre vent.

En dépit des apparences, il est donc certain que les *lycopodiacées arborescentes* étaient solidement fixées au sol meuble et vaseux de la lagune houillère, cette fixation énergique pouvant du reste être très facilement expliquée. Si la base du tronc et les grosses racines dans leurs parties proximales de ce tronc pouvaient ne présenter qu'une adhérence très précaire avec le sol sur lequel elles reposaient, les *stigmaria*, grâce aux innombrables radicules qu'elles portaient et à la surface de contact considérable que développaient ces dernières, devaient constituer malgré la plasticité et le peu de cohésion du sol vaseux des systèmes d'attache très puissants <sup>(4)</sup> par suite de la multiplicité des actions élémentaires de chaque radicule.

(1) PAUL BERTRAND. — [87], p. 43, figures représentant les parties souterraines de *Calamites Suckowi* Br. attribuées aujourd'hui au *C. Cisti* Br.

(2) PAUL BERTRAND — [87], p. 26. Les 4/5<sup>e</sup> des houilles en dériveraient.

(3) J'ai déjà rappelé précédemment que les *stigmaria* et par conséquent les racines qui s'inséraient sur les troncs des *Sigillaires* et des *Lépidodendrons* ne sont pas de véritables racines. D'après SCOTT ce sont des rameaux sans feuilles ayant pour fonction de porter des racines, c'est-à-dire de simples *rhizophores*.

(4) C'est pour la même raison que les racines pivotantes des *Calamites*, arbres de 8 à 10 m. de haut, dont certaines espèces (*Calamodendrons*) atteignaient 20 et 30 mètres, devaient s'enfoncer profondément dans le sol.

L'action du bras de levier considérable que formait le fût se trouvait donc normalement compensée par celle de l'appareil radicaire cruciforme, chacun des groupes comprenant l'une des quatre grosses racines ramifiées par dichotomie constituant un bras de levier plus court, mais aussi efficace par suite des points d'attache multiples des *stigmaria* adhérant fortement au sol par leurs innombrables radicelles ; *une multiplicité d'actions extrêmement faibles étant susceptible, comme cela est prouvé très fréquemment, de réaliser une action très importante.* <sup>(1)</sup>.

Ce mode de fixation des Sigillaires et des Lépidodendrons explique *l'arrachement de leurs souches des sols de végétations fossiles, l'abandon de leurs « stigmaria » dans ces mêmes sols, le transport de leur souche et leur dépôt dans les roches des toits* où elles représentent presque toujours des éléments allochtones.

En effet, lorsque au cours de tempêtes ou de cyclones la violence du vent exerçait des forces suffisantes pour abattre les arbres gigantesques qu'étaient les sigillaires et les lépidodendrons, il est évident que par suite de la forte adhésion des parties distales des *stigmaria*, la rupture se produisait presque toujours dans le voisinage des points d'insertion des quatre grosses racines primaires à la base du tronc. De cette façon, le végétal abandonnait ses racines (*Stigmaria*) dans le sol de végétation, tandis que la partie abattue susceptible d'être emportée comprenait le fût cylindrique et la souche ou base du tronc plus ou moins conique et portant des moignons de racines ; *circonstances qui expliquent la présence fréquente de stigmaria sans souches correspondantes et la rareté relative des souches enracinées dans les murs.* Les figures schématiques 83<sup>t</sup> et 84<sup>t</sup> montrent bien l'allure du phénomène.

#### b. — Transport des arbres houillers.

On a souvent objecté que les troncs debout des toits ne pouvaient avoir été transportés là où ils sont, les sédiments où on les trouve actuellement n'ayant pas dû se former sous une épaisseur d'eau suffisante pour permettre le charriage de troncs debout, et on a alors conclu à leur fossilisation *in loco natali*, là où ils se sont enracinés. Cette objection semble à première vue pouvoir être opposée sérieusement à la possibilité du transport des arbres dans le cas où je me suis placé, puisque j'ai supposé que les Sigillaires et les Lépidodendrons déracinés à l'état vivant étaient abattus entiers <sup>(2)</sup> avec leurs souches, leurs tiges et leurs couronnes de feuillage ; ce qui supposerait, si l'objection était vraie, que la lame d'eau ait pu atteindre vingt-cinq mètres en moyenne ce qui est évidemment impossible au dessus d'un sol de végétation.

En réalité, cette objection doit être écartée, *car du fait que les souches se sont immergées et ont échoué debout on ne peut conclure que les arbres entiers dont elles dérivent ont toujours été charriés en position verticale au cours de leur transport.* Cette dernière hypothèse est par contre en contradiction avec les lois physiques qui régissent le transport par flottage des objets allongés que sont les arbres entiers.

(1) Ce type de fixation n'est pas spécial aux végétaux houillers à racines traçantes, on peut dire qu'il est caractéristique des arbres qui croissent dans les marais dont l'arrimage au sol est surtout assuré par les parties distales des racines. Un dessin original de KOORDERS représentant la végétation marécageuse voisine de Biwak, reproduit par H. POTONIÉ, en fait foi. Voir [482], Bd III, p. 196, fig. 39.

(2) C'est d'ailleurs le cas normal à l'heure actuelle pour tous les arbres déracinés. Lorsque le tronc est brisé les racines, le plus souvent, ne sont pas ébranlées et c'est leur résistance qui a précisément provoqué cette rupture.

En effet, si l'on considère une sigillaire entière déracinée et amputée seulement de la majeure partie de ses racines réduites à de courts moignons, comme celle représentée par la figure 83<sup>t</sup>, il est évident qu'étant donnée la forme conique de la tige, le centre de gravité de l'ensemble se trouvait placé en G en un point situé plus près de la base que du sommet. Les poids respectifs des parties a et b étant par définition égaux, il est certain que l'arbre entier était susceptible de flotter horizontalement et que l'épaisseur de la lame d'eau capable de le tenir en suspension n'était plus déterminée par sa longueur, mais par son diamètre. Comme on s'accorde généralement à admettre que la lame d'eau recouvrant les sols de végétation pouvait atteindre

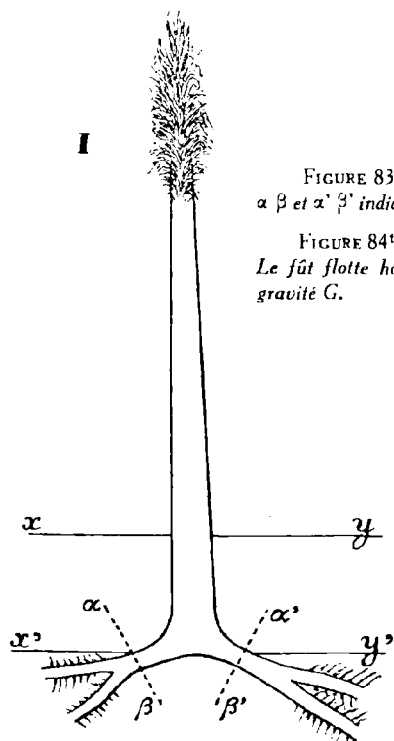
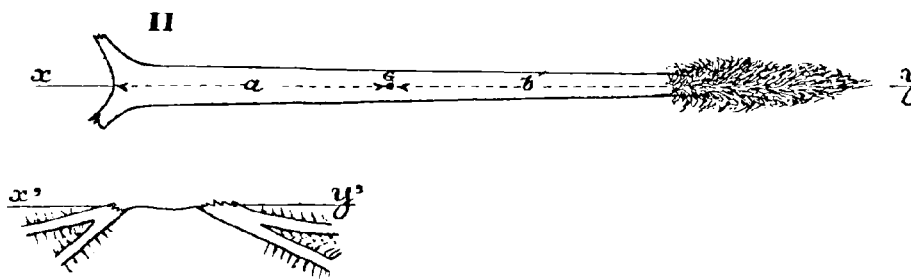
FIG. 83<sup>t</sup>.

FIGURE 83<sup>t</sup>. — Sigillaire sur pied enracinée dans le sol inondé  $x' y'$  de la lagune houillère. Les droites en pointillés  $\alpha \beta$  et  $\alpha' \beta'$  indiquent les directions de rupture des stigmaria.

FIGURE 84<sup>t</sup>. — La même sigillaire abattue et ayant abandonné ses stigmaria dans le sol de végétation (mur). Le fût flotte horizontalement à la surface de l'eau  $x y$ , les parties a et b s'équilibrant de part et d'autre du centre de gravité G.

FIG. 84<sup>t</sup>.

5 mètres <sup>(1)</sup>, le flottage de tels arbres entiers était parfaitement possible, une lame d'eau beaucoup plus mince suffisant pour leur mise en suspension.

Une fois mis en suspension, ces arbres flottant à la surface étaient peu à peu entraînés vers le large, au-delà de la zone boisée et dans le voisinage des points où se déposaient les roches des toits riches en végétaux flottés et étalés. Au cours de ce transport les arbres entiers ne tardaient pas à se morceler par suite d'actions mécaniques ou bio-chimiques. Sous les actions mécaniques des heurts répétés des troncs flottants partant à la dérive s'entre-choquant les uns contre les autres, des chocs des bois flottés contre les arbres sur pied et sous les actions bio-chimiques des microorganismes ou des ferments les troncs ne devaient pas tarder à se morceler ; les parties

(1) A. RÉNIER. — [531], p. M. 311.



les plus fragiles se détachant tout d'abord. Les couronnes de feuillage se séparaient les premières éparpillant leurs feuilles sur les aires de dépôt. Puis venait le tour des parties terminales des tiges et éventuellement des branches dont les cylindres centraux peu lignifiés, formés surtout de tissus celluloseux, rapidement détruits par les actions bactériennes cessaient de soutenir les écorces sclérifiées qui se divisaient en lambeaux. Les bases des troncs plus massives, plus lignifiées, résistant mieux aux agents destructeurs, les arbres flottés voyaient constamment leur fût se raccourcir par amputations successives de leurs parties supérieures, *raccourcissement qui provoquait un déplacement de leur centre de gravité vers leur base* (Fig. 85<sup>t</sup>).

Pendant un certain temps les parties de troncs  $a_1, b_1$ , situées de part et d'autre des centres

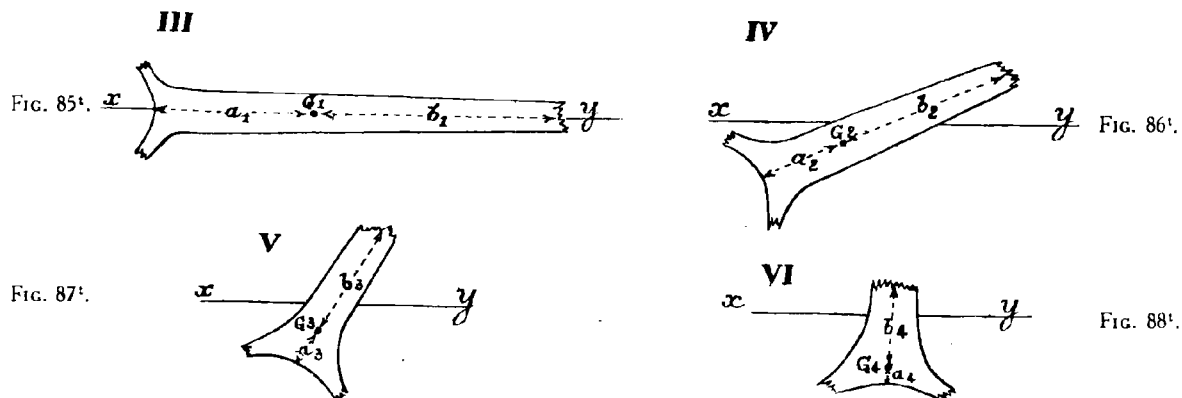


FIGURE 85<sup>t</sup>. — Au cours du transport le fût se morcelant le centre de gravité  $G$  se rapproche de la base. Les parties  $a_1$  et  $b_1$  s'équilibrant permettent encore le flottage horizontal.

FIGURE 86<sup>t</sup>. — Début du redressement de la souche de la sigillaire de la Fig. 83<sup>t</sup>. La partie  $a_2$  plus dense n'étant plus équilibrée par la partie  $b_2$  détermine un mouvement de bascule

FIGURE 87<sup>t</sup>. — Redressement plus accentué de la souche par suite de son raccourcissement progressif.

FIGURE 88<sup>t</sup>. — Redressement complet de la souche flottant verticalement avant d'échouer là où se déposait la roche du toit.

de gravité s'équilibrant, les arbres continuaient à flotter horizontalement sur l'eau. Si le phénomène de fragmentation se poursuivait, il arrivait un moment où les centres de gravité  $G_2, G_3$ , se rapprochant encore plus de la base, les parties  $b_2, b_3$ , n'étaient plus capables d'équilibrer dans cette position les parties  $a_2, a_3$ ; de sorte que sous l'action de ces dernières les troncs se redressaient peu à peu et prenaient des positions obliques de plus en plus voisines de la verticale pour l'atteindre lorsque le centre de gravité se trouvant placé en  $G_4$  le tronc ou plutôt la souche se redressait complètement. A cet état les souches pouvaient flotter dans des régions où la profondeur d'eau était assez faible. Les figures 83<sup>t</sup> à 88<sup>t</sup> représentent de I à VI les différents stades de l'arrachement du transport horizontal, oblique puis vertical de troncs et de fragments de troncs.

L'action du centre de gravité se poursuivant et s'accroissant, même au cours de l'immersion, il n'est donc pas étonnant que de telles souches se soient déposées verticalement sur les

aires de dépôt où s'accumulaient les éléments des grès ou des schistes de toit ; la largeur et la forme de leur base rendant particulièrement facile la réalisation d'une telle position.

Le transport d'arbres entiers ou de troncs d'une certaine longueur semble à première vue très difficile dans un marécage boisé où les arbres en place formaient autant d'obstacles à surmonter et à franchir. Quoi qu'il en soit, ce *transport a eu lieu* <sup>(1)</sup> puisque les nombreux troncs couchés, parfois de grandes dimensions, que l'on trouve dans les toits en font foi. Vraisemblablement, ce transport était facilité par le fait que l'abatage des arbres vivants étant surtout le résultat de l'action de tempêtes ou de cyclones, un grand nombre d'individus étaient déracinés en même temps, de sorte qu'il se formait dans les forêts marécageuses de vastes trouées par lesquelles les bois flottés pouvaient gagner le large. Il est même probable que dans cette œuvre de destruction l'action de l'eau en mouvement préparait celle des vents. Lors des périodes pluvieuses, qui à l'époque houillère revêtaient un caractère diluvien, des cours d'eau temporaires pouvaient prendre naissance et déterminer dans la forêt marécageuse des courants relativement forts. L'eau en mouvement était alors capable d'affouiller la vase aux pieds des arbres et de dégager partiellement leurs racines, circonstance qui rendait plus facile leur renversement par les vents. Lorsque cet affouillement avait été accentué, la première tempête renversait tous les arbres se trouvant sur le passage du courant et il se formait alors un chenal permettant aux troncs et aux souches abattus de gagner le large et les aires de dépôt des roches de toit où nous les trouvons dans les schistes ou dans les grès.

Ces arbres pouvaient également provenir des lisières des forêts marécageuses où l'inondation dévastatrice progressait au cours des subsidences lentes (transgressions lentes, Pl. D, Fig. 81<sup>t</sup>, a et 81<sup>t</sup>, b).

*En dernière analyse, le transport de tous les fragments de tiges des arbres houillers, y compris les troncs debout et leur dépôt dans les sédiments (sables ou boues argileuses) à partir desquels se sont différenciés les grès et les schistes de toit, a été un phénomène constant et continu. On peut même dire que l'échouage debout des souches d'arbre peut être considéré comme étant la règle puisque les dites souches ne se rencontrent qu'exceptionnellement dans une autre position.*

## II

### GENÈSE DES DÉBRIS DE TISSUS LIGNEUX

Quelle que soit l'opinion que l'on puisse se faire du flottage des arbres houillers et de l'origine des troncs debout, *il est certain qu'une infime proportion* seulement des tiges des végétaux carbonifères se retrouve fossilisée dans les roches stériles.

D'autre part, l'étude microscopique des houilles montre (Chapitre VII<sup>e</sup>, p. 120) que les *substances ligneuses* n'entrent dans la composition de ces roches combustibles, comme du reste dans celles des stériles (schiste, grès), qu'à l'état de *menus fragments* le plus souvent quasi-micro-

(1) Je rappellerai ici pour mémoire que les transports d'arbres entiers ne sont pas rares dans la nature actuelle et que H. POTONIE a cité des cas de transport transatlantique de ce genre. Il est également bien démontré que certains arbres peuvent être charriés debout, vraisemblablement quand leurs racines sont alourdies par des blocs ou galets qui s'y trouvent engagés.

copiques, *état de division tel qu'il est impossible de déterminer la nature des organes dont ils dérivent* ; la distinction du *bois* (tissu vasculaire lignifié des botanistes) et du *sclérenchyme* (tissu lignifié de soutien) ne pouvant généralement pas être faite <sup>(1)</sup>.

Par contre, nous avons vu en même temps que ces débris de tissus lignifiés peuvent présenter des états de fossilisation différents qui aboutissent à leur transformation en *houille mate fibreuse* (Fusain) ou en *houille brillante* provenant d'une gélification partielle (Xylain) ou totale (Xylovitrain) ; états de conservation différents qui peuvent coexister dans un même lit de houille.

Ces débris provenant de *substances initiales semblables* et se retrouvant dans *les mêmes conditions de gisement* ont donc subi des processus d'évolution différents qui impliquent qu'ils ont éprouvé des vicissitudes variées qui expliquent leurs caractères respectifs actuels.

J'envisagerai successivement ici quelles ont été les causes du morcellement des tissus ligneux des végétaux houillers et de leur transformation, soit en houille mate fibreuse, soit en houille brillante.

### A. — Causes du morcellement accentué des tissus ligneux.

J'ai dit précédemment que l'état de division des tissus ligneux des houilles, se présentant en lambeaux ou en masses lenticulaires souvent de très petite taille, et l'absence de caractères distinctifs <sup>(2)</sup> ne permettaient pas de déterminer les parties des végétaux dont ils dérivent et à plus forte raison le genre et l'espèce de ces êtres vivants.

Cependant, en coordonnant les résultats acquis aujourd'hui dans les domaines connexes de la stratigraphie, de la paléobotanique et de la lithologie on peut, néanmoins, résoudre le problème de l'origine des tissus ligneux des houilles d'une façon très satisfaisante.

Il est certain, en effet, que l'étude des strates stériles du terrain houiller n'a mis en évidence qu'une très faible partie seulement des troncs des végétaux de cette époque qui se retrouvent fossilisés sous forme de tiges couchées ou de souches en place représentant des tronçons plus ou moins importants des arbres dont ils dérivent.

D'autre part, la Paléobotanique nous enseigne que les grands arbres houillers qui ont surtout concouru à la formation de la houille du Nord de la France (Sigillaires, Lépidodendrons) étaient caractérisés par le peu de développement de leur tissu vasculaire ligneux, leurs vaisseaux du *bois* étant peu lignifiés et leur cylindre central formé surtout de tissus lâches, lacuneux et principalement cellulodiques. L'appareil de soutien de ces géants de la forêt houillère était surtout constitué par les fibres sclérifiées, fortement lignifiées et à parois épaisses, de la zone corticale ; fibres qui formaient une sorte d'étui très rigide que l'on retrouve transformé en charbon brillant (Xylain et Xylovitrain) dans beaucoup de troncs houillers. Une partie de tige exposée au Musée houiller de Lille montre une croûte de houille brillante amorphe (bois gélifié)

(1) La seule détermination que l'on puisse faire en restant dans un domaine vraiment scientifique est celle de certains bois de gymnospermes.

(2) En réalité, tous les tissus ligneux des houilles ne sont pas identiques et pourraient à la rigueur être classés d'après les dimensions très variables des cellules, l'épaisseur de leurs parois ou leur disposition, caractères correspondant à plusieurs types. Ce sont là cependant des caractères très secondaires que l'on peut observer sur les différentes planches de ce mémoire et que je n'ai pas jugé opportun de faire intervenir dans cette étude qu'ils auraient compliquée sans profit réel.

de 0 m. 015 d'épaisseur, son cylindre central légèrement aplati et à section ovale ayant été épigénisé par une boue argileuse (schiste).

Enfin, l'étude de la structure microscopique des houilles m'a permis de montrer que les différentes parties des végétaux ne se retrouvent pas assemblées côte à côte, mais ont subi, au contraire, un classement qui les a distribuées dans les diverses variétés de charbon; les tissus ligneux existant seuls dans les anthracites et les houilles à coke, dominant surtout dans ces dernières et coexistant, par contre, en quantité toujours minime avec les spores et les cuticules des houilles flambantes et grasses à gaz.

Les tissus ligneux existant, d'autre part, dans toutes les variétés de houille à l'état de menus débris, il est évident que les arbres dont ils dérivent ont subi entre leur chute et les phénomènes de dépôt un morcellement très accentué, morcellement qui s'explique très facilement dans la théorie du transport.

Au cours de leur flottage dans les eaux de la lagune houillère, les troncs d'arbres avaient naturellement tendance à se diviser en menus fragments par suite des actions combinées des agents chimiques ou bio-chimiques et des agents mécaniques. L'action des microbes et des ferments avait tôt fait de détruire et de transformer en substances solubles ou en gaz les tissus lâches, lacuneux essentiellement celluloseux ou à peine lignifiés des cylindres centraux et d'entraîner, par contre-coup, l'effondrement des parois corticales et l'aplatissement des tiges. Cet effondrement de parois rigides ne pouvait se réaliser que grâce à certaines brisures qui s'ajoutant à celles provoquées par la destruction des rayons médullaires <sup>(1)</sup> permettaient la division de l'écorce en secteurs ou lambeaux de dimensions très variables.

Ces surfaces de séparation une fois produites, des actions mécaniques dues à la contraction ou à la dilatation des masses ligneuses au cours de leur évolution chimique et aux chocs des troncs flottants les uns contre les autres ou contre les arbres en place suffisaient pour provoquer le morcellement et en quelque sorte l'émiettement des écorces lorsque ces phénomènes se reproduisaient pendant un certain temps, ce qui était le cas lorsque le transport se prolongeait.

Ce mode de fragmentation rend bien compte des faits observés tels que le morcellement des troncs couchés, leur présence dans les grès et dans les schistes, la fréquence relative des troncs debout dans les schistes fins et l'absence de grands fragments de tiges ou de branches dans les charbons.

Le tronçonnage des tiges couchées s'explique de lui-même, car il est évident que la destruction des cylindres centraux, surtout vers les extrémités des tiges, rendait très fragiles ces fûts gigantesques qui ne devaient pas tarder à se briser en plusieurs parties. Les zones médianes ou terminales des troncs aplatis et moins cohérentes se morcelaient plus facilement que les bases de troncs plus massives et plus lignifiées et fournissaient alors des menus débris qui, emportés au loin par les eaux, se déposaient là où s'accumulaient les alluvions végétales, génératrices des couches de houille. Certains de ces troncs aplatis s'immergeaient en cours de route avant de s'être émiettés et se sont trouvés enlisés dans les sables ou les boues argileuses que représentaient les toits en voie de formation. Les souches plus résistantes s'immergeaient, en règle générale, en des points assez éloignés du rivage, caractère qui explique leur fréquence relative

(1) Cette destruction par gélification et dissolution des rayons médullaires est visible sur les figures 153, 155 et 156 de la planche XXX.

dans les toits de schiste fin à feuilles flottées, fréquence signalée par M. CHARLES BARROIS. Là où se déposaient les alluvions exclusivement végétales, point de départ des couches de houille, il n'arrivait plus, par suite de l'éloignement du rivage et de la longueur relative du transport, que des menus débris de sclérenchyme ; les tiges et souches ayant été morcelées et émiettées en cours de route.

En dernière analyse, le morcellement des écorces sclérifiées constaté dans les houilles était surtout conditionné par la nature de l'organisation des Sigillaires et des Lépidodendrons où la destruction rapide du cylindre central permettait la fragmentation d'une zone corticale fortement sclérifiée, mais *relativement* mince.

La prédominance des fibres sclérifiées parmi les tissus ligneux des charbons explique la monotonie de leur aspect, ces fibres à l'inverse des vaisseaux vasculaires lignifiés (bois des botanistes) ne présentant pas la riche ornementation si variée caractéristique de ces derniers.

### B. — Genèse des débris de tissus ligneux.

Les trois types de tissus ligneux des houilles que j'ai désignés par les termes « *Fusain* », « *Bois partiellement gélifié* » (Xylain) et *Bois gélifié* <sup>(1)</sup> (Xylovitrain) présentent un caractère commun, leurs formes extérieures qui affectent le plus souvent l'allure de masses lenticulaires s'amincissant sur leur pourtour comme cela est surtout visible dans les sections verticales de blocs de charbon. La comparaison des figures 141 et 201, 143 et 202 appartenant respectivement aux planches XXVII et XXXVIII montre bien que les masses de Fusain et de bois gélifiés présentent des formes et des dimensions identiques. Ces masses lenticulaires peuvent être assez minces et assez étendues, elles affectent alors l'allure de lames telles que celles représentées par les figures 145 (Pl. XXVIII), 194 et 195 (Pl. XXXVII). Certaines lames au lieu de s'amincir progressivement sont tronquées en biseau (Fig. 151, Pl. XXIX ; Fig. 196 et 197, Pl. XXXVII).

Le *Fusain* et les *bois plus ou moins gélifiés* peuvent présenter des structures cellulaires identiques, soit que les cellules aient gardé les aspects caractéristiques des tissus vivants (comparer les figures 148 à 152 de la Pl. XXIX), soit que le tissu étant désarticulé elles affectent l'aspect connu sous le nom de structure étoilée ou de Bogenstruktur. (Comparer les figures 157a à 161 de la Pl. XXXI). Le caractère structural n'est donc pas spécifique de l'un des types de fossilisation des tissus ligneux.

Les fragments de Fusain peuvent, néanmoins, atteindre des dimensions supérieures à celles des masses lenticulaires de bois partiellement ou entièrement gélifiés. Cependant, ces dimensions dépassent rarement quelques centimètres et les lits de Fusain que l'on peut observer de temps en temps sont, en réalité, formés de petits fragments juxtaposés. Un examen attentif permet le plus souvent de reconnaître dans la masse de ces lits des minces filets de houille brillante qui représentent la pâte amorphe très réduite qui cimente le tout.

On voit par ce bref résumé des caractères du *Fusain* et des *bois plus ou moins gélifiés*, qu'ils ne diffèrent les uns des autres *que par leur état de fossilisation* ; le premier dérivant de tissus ligneux transformés en houille mate et les seconds de tissus ligneux analogues transformés en houille brillante.

(1) Voir : [183].

A une époque où l'on estimait à tort que la houille était une roche combustible essentiellement ligneuse, les questions de l'origine du Fusain, seule partie du charbon où la structure du bois pouvait être observée, et de son mode de formation se sont posées très tôt et ont donné lieu à de nombreuses théories.

L'analogie d'aspect entre le charbon de bois artificiel et le Fusain, analogie qui a valu son nom à ce constituant macroscopique des houilles, a fait naître l'idée que la houille mate fibreuse pouvait bien provenir d'incendies de forêts. Malheureusement, la dissémination du fusain à l'état de menus fragments dans toute la masse des veines de houille obligerait alors à admettre que l'incendie existait à l'état endémique et qu'il était toujours de peu d'étendue ; le Fusain ne formant jamais qu'une très faible partie des veines de houille, partie dépassant rarement quelques unités pour cent. De plus, on comprend difficilement la combustion d'arbres vivant le pied dans une lagune et complètement gorgés de l'eau nécessaire à leur turgescence.

Les autres théories se ramènent toutes à admettre une oxydation intensive des tissus ligneux par dessèchement dans l'atmosphère, mais sont muettes sur les causes qui ont provoqué le phénomène. L'ignorance où l'on se trouvait alors de la véritable nature des débris ligneux de la houille, la conviction sur laquelle reposaient toutes les hypothèses que le charbon était constitué par un empilement sur place de tiges, de branches, de racines, conduisaient à considérer le Fusain comme très différent des autres variétés de bois fossile et à poser le problème avec des données inexactes.

Mes recherches microscopiques ayant mis en évidence l'analogie des formes extérieures et la similitude des structures microscopiques des Fusains et des bois gélifiés montrent que seuls des processus de fossilisation différents ont provoqué les dissemblances qui caractérisent les uns et les autres. Ceci une fois établi, la coordination de faits observés dans les murs et dans les toits des couches de houille permet de résoudre d'une façon satisfaisante le double problème de l'origine des houilles mates (Fusain) et des houilles brillantes (bois gélifiés) d'origine ligneuse.

Nous avons vu précédemment que l'étude des sols de végétation fossiles met en évidence que l'enlèvement des arbres houillers a pu se produire de deux façons différentes, la plupart de ces arbres ayant été arrachés vivants avec leurs souches en abandonnant seulement leurs stigmaria, tandis que d'autres mourant sur place et arasés dans le voisinage de leur base laissaient leurs souches enracinées. J'examinerai successivement ces deux cas différents.

#### **a. — Mode de destruction des arbres abattus vivants avec leur souche.**

##### **Genèse des houilles brillantes d'origine ligneuse (Xylain et Xylovitrain).**

Nous avons vu que ces arbres provenaient, au moins en partie, des forêts détruites par les inondations progressives (subsides lentes, Pl. D, Fig. 81<sup>t</sup>, a et 81<sup>t</sup>, b).

J'ai étudié précédemment, en détail, les causes et les conditions d'abatage des arbres entiers au sujet de l'origine des tiges couchées et des troncs debout des toits. Il est évident que ces arbres renversés par les vents en pleine vie avaient des tissus gorgés d'eau et qu'au cours de leur flottage à la surface des eaux de la lagune houillère, cette eau d'imbibition se trouvait constamment renouvelée. Dans ces conditions, l'altération des tissus ligneux en milieu aqueux était presque exclusivement microbienne et se traduisait surtout par une gélification qui, suivant

les cas, pouvait être partielle (bois partiellement gélifiés = Xylain) ou totale (bois gélifiés = Xylovitrain) et même tendre, dans certains cas, vers une véritable liquéfaction.

J'ai pu mettre en évidence des altérations de masses ligneuses par gélification progressive dans certains lignites xyloïdes où les analogies de structure avec les bois des houilles plus ou moins transformés en substances amorphes sont frappantes <sup>(1)</sup>.

D'autre part, ce n'est pas là une simple hypothèse car son exactitude se trouve vérifiée par l'étude des troncs debout ou autres des toits des veines de houille. *C'est un fait bien connu que la gaine corticale des troncs debout ou des tiges couchées est constituée par une pellicule plus ou moins épaisse de houille brillante.* Cette houille brillante que j'ai eu l'occasion d'observer maintes fois ne présente plus aucune trace d'organisation, elle se révèle amorphe, sans aucune structure. *Il est donc bien prouvé qu'au cours de leur transport dans l'eau, les tissus ligneux de la zone corticale sclérifiée des tiges ou des souches charriées subissaient la gélification et étaient transformés en houille brillante.*

Cette gélification devait *a fortiori* affecter également les menus débris de ces mêmes zones corticales fragmentées et émiettées au cours du transport.

Les bois partiellement gélifiés et les bois gélifiés des houilles dériveraient donc uniquement d'arbres abattus vivants et dont les tissus gorgés de sève, constamment imbibés d'eau, ont évolué uniquement en milieu aqueux.

#### **b. — Mode de destruction des arbres morts dont les souches sont restées enracinées dans les murs. (Genèse du Fusain).**

Nous avons vu que certains arbres houillers, relativement peu nombreux, ont abandonné dans les sols de végétation (murs) leur souche restée en rapport avec leurs stigmaries. Étant donné le mode d'organisation de ces arbres et, en particulier, le renflement considérable des fûts vers leur base, il est peu vraisemblable que leur arasement dans le voisinage des points d'insertion des racines se produisait par rupture du tronc en cet endroit où ils présentaient de grandes sections et une zone fortement lignifiées. En admettant que les exondations progressives (régressions, Pl. D, Fig. 81<sup>t</sup>, c, 82<sup>t</sup>, a et 82<sup>t</sup>, c) aient provoqué la mort de ces arbres, il est probable que dans ce cas la souche fortement fixée au sol ayant résisté et empêché le déracinement, que seule la couronne feuillue a été abattue et que la tige dressée est restée en place.

A ces tiges venaient s'ajouter les arbres morts par vétusté, mais restés sur pied <sup>(2)</sup>, dont les différentes parties constitutives se désagrégeaient peu à peu.

La circulation de la sève cessant aussitôt après la mort, les parties aériennes de tels arbres n'ont pas tardé à se dessécher complètement et à subir l'action oxydante de l'air. Cette oxydation était d'autant plus rapide que les orages fréquents, dans une atmosphère très humide soumise à un climat tropical, provoquaient la formation d'ozone, gaz dont le pouvoir oxydant dépasse de beaucoup celui de l'oxygène.

Dans ces conditions, les tissus ligneux corticaux des arbres morts sur place subissant à la fois l'action desséchante des radiations solaires et une oxydation intense devaient se transformer

(1) A. DUPARQUE. — [187].

(2) On sait que certains arbres morts restent dressés pendant des laps de temps assez longs.

rapidement en une substance très évoluée qui, une fois atteint un certain stade, acquérait une grande résistance aux agents chimiques ou bio-chimiques susceptibles d'agir sur elle en milieu aqueux et de provoquer leur gélification.

Le dessèchement progressif des arbres morts sur place avait pour résultat de rendre certaines parties plus fragiles en provoquant leur morcellement, de permettre l'enlèvement de ces parties par les vents et d'entraîner l'arasement progressif des troncs en place. Les menus fragments ainsi emportés ne tardaient pas à s'immerger dans les eaux de la lagune houillère et à gagner peu à peu les aires de dépôt où s'accumulaient les houilles.

Leur évolution rapide vers la réalisation d'un composé qui n'était plus susceptible de subir une gélification explique le fait que les Fusains des houilles grasses à gaz ou flambantes (charbons de cutine), des houilles à coke (charbons ligneux) et des anthracites (charbons cellulosiques) sont pratiquement identiques [202]. Cette évolution rapide pouvait résulter parfois des combustions sur pied des troncs desséchés de *forêts fossiles* détruites par exondation (Pl. D, Fig. 81<sup>t</sup> c, 82<sup>t</sup> a et c) qui ne constituaient pas à proprement parler des incendies de forêts, mais des incinérations localisées de bois mort sur des sols de végétation fossiles.

Particularité intéressante à noter : la rareté relative des souches en place dans les murs est en rapport avec le rôle joué par le Fusain dans l'édification de la masse des veines de houille. Comme je l'ai rappelé antérieurement, le Fusain ne forme jamais qu'un pourcentage assez faible du volume des couches de charbon.

En dernière analyse, l'existence de souches en place dans les murs *expliquerait pourquoi*, comme l'a écrit GRAND-EURY [278], le Fusain « *peut bien n'être que du bois fortement desséché qui, après enfouissement, n'a plus été apte à subir la transformation en houille des autres débris végétaux.* »

Au mot « *enfouissement* » il y aurait lieu de substituer, à mon avis, dans la phrase de GRAND-EURY le mot « *immersion* » et de faire intervenir dans la formation du Fusain l'action de certains agents chimiques qui ont pu s'exercer sur les menus fragments de bois desséchés dans l'eau même de la lagune houillère et achever une transformation déjà très avancée. Comme l'admet notamment M. P. BERTRAND une imprégnation par les sulfures peut avoir joué un certain rôle dans la genèse de cet anthracite ligneux.

A cette théorie sur la formation du Fusain on pourra opposer l'opinion maintes fois émise que le bois mort abandonné à la surface du sol ou dans les galeries de nos mines subit la putréfaction qui est une sorte de liquéfaction et non la dessiccation que j'ai décrite. Il est facile de répondre à cette objection et de montrer que dans la nature actuelle l'on peut observer des faits qui viennent confirmer la manière de voir que je viens d'exposer. Lors de courses géologiques il m'a été donné de pouvoir examiner attentivement dans les forêts du Soissonnais des arbres morts restés debout depuis très longtemps. Ces arbres morts entre 1914 et 1918, c'est-à-dire depuis des laps de temps oscillant entre *seize* et *onze années*, n'ont pas subi les phénomènes de pourriture et de liquéfaction que l'on prétend être de règle. *Ils se sont transformés par dessiccation en une substance grise plus friable et plus cassante que le bois* ne présentant aucune trace de pourriture même à la base des troncs et dans le voisinage du sol. Les extrémités des branches et des troncs déchiquetés présentent fréquemment des états de division accentuée, les fibres brisées et dissociées formant des sortes d'effilochures parfois très ténues. Ces parties à grandes surfaces de contact sont parfaitement saines et sèches et ne montrent aucun indice de gélification. Il est donc évident que dans la nature actuelle des bois morts soumis à l'action oxydante de l'air, dans une



atmosphère humide (régions boisées) pendant plus de dix années, n'ont pas évolué dans le sens d'une liquéfaction par pourriture, *mais dans le sens d'une dessiccation très accentuée* qui a donné naissance à un produit fibreux d'un gris plus foncé que le bois et rappelant, par certains caractères (friabilité, moindre résistance à la rupture, absence de flexibilité) les Fusains des houilles. Cette transformation par dessèchement que nous voyons se réaliser dans les masses ligneuses compactes de nos arbres devait se produire encore plus facilement dans les végétaux houillers où les anneaux sclérifiés des écorces, relativement peu épais, offraient plus de prise aux agents transformateurs. Les bois desséchés et noircis des forêts dévastées du Soissonnais fournissent, à mon avis, un argument en faveur de la théorie de la formation du Fusain que je viens d'exposer.

En résumé, la coordination des résultats actuellement acquis dans l'étude stratigraphique et paléontologique des toits et des murs, dans l'étude paléobotanique des végétaux houillers et dans l'examen microscopique des charbons m'a permis d'expliquer de façon simple et logique la formation de *houille brillante* (bois partiellement ou totalement gélifiés) et de *houille mate* (Fusain) à partir de mêmes substances ligneuses (écorces sclérifiées des lycopodiacées arborescentes) et de mettre, une fois de plus, en évidence *le rôle essentiel des phénomènes qui se sont développés au cours des premières phases de la fossilisation dans l'évolution des roches combustibles*, rôle essentiel qu'indique bien *l'importance de la différenciation des dépôts initiaux dans la genèse des différents types de combustibles*, importance que j'ai signalée depuis longtemps dans des travaux antérieurs.

### Conclusions du Chapitre vingt-sixième

L'étude du mode d'abatage des arbres houillers m'a conduit à admettre *que la plupart des souches des toits sont des éléments transportés* qui sont venus échouer à la surface de sédiments de nature très diverse (grès, schistes, houilles) après avoir flotté dans les eaux de la lagune carbonifère.

Le fait qu'il serait prouvé qu'un tronc debout d'un toit se trouverait actuellement au lieu où il a pris racine n'entraînerait pas *a fortiori* la preuve que la couche de houille sous jacente a une origine autochtone. *Ce fait en lui-même montrerait seulement que la couche de houille en question a pu devenir, après sa formation, un sol de végétation* comme n'importe quelle couche de sédiment du complexe houiller.

Enfin, l'étude des modes de gisement des troncs d'arbres, des toits et des murs des veines de houille m'a permis de donner *une explication de la formation simultanée dans la lagune houillère du Fusain et des tissus ligneux partiellement ou complètement gélifiés* (Xylain et Xylovitrain).

### Conclusions de l'Étude du mode de formation des houilles et des autres roches houillères

#### RÉSUMÉ DE LA THÉORIE DE LA GENÈSE DES HOUILLES PAR FLOTTAGE ET ALLUVIONNEMENT

La théorie de l'alluvionnement végétal par flottage que j'ai exposée dans les développements précédents peut se résumer de la façon suivante :

1° — *Toutes les houilles* que j'ai étudiées jusqu'ici *sans aucune distinction*, qu'elles appartiennent

ment au Stéphalien ou au Westphalien et quelle que soit leur provenance présentent des structures microscopiques telles qu'on doit admettre que leurs éléments végétaux *ont subi des phénomènes de transport suivis d'un classement par densité des menus fragments végétaux ayant gardé leur organisation originelle.*

2° — Ce transport et ce classement se sont réalisés, partie dans l'*atmosphère* (vent) et partie dans l'*eau de la lagune houillère*, pour les menus débris végétaux (fragments de tissus ligneux de feuilles ou de corps résineux) ou pour les organismes végétaux de très petite taille tels que les macrospores et les microspores ; *principalement dans l'eau* pour les grands débris végétaux (fragments de bois de taille relativement grande) et les substances végétales transportées à l'état dissout ou en pseudo-solution.

Ces phénomènes de transport par flottage et de classement n'impliquent donc pas, comme dans la théorie allochtone de Fayol, l'action des cours d'eau, *ils ne font intervenir que le jeu simultané des vents et des courants lents qui animaient les eaux de la lagune houillère.*

3° — *Les alluvions végétales* consistant en menus débris végétaux en suspension dans l'eau et en substances dissoutes ou en pseudo-solution précipitées se déposaient au delà des aires de dépôt des sédiments minéraux les plus fins en des points que n'atteignaient pas, pour des raisons que je rappellerai plus loin (5°), les boues minérales terrigènes les plus ténues et donnaient naissance, suivant les cas, à des *boues végétales terrigènes* riches en substances cellulosiques (houilles cellulosiques = Anthracites), ou en substances ligneuses (h. ligneuses = h. à coke), ou encore en substances cutinisées (h. de cutine = h. grasses à gaz et h. flambantes).

4° — La *séparation rigoureuse* des menus débris végétaux et des particules argileuses les plus fines était rendue possible, comme du reste le classement des corps figurés végétaux caractéristiques des différents dépôts organiques, grâce à la grande flottabilité des fragments ou des parties de végétaux, *ce haut degré de flottabilité* étant lié à leurs formes, à leurs densités et surtout à la nature de leur substance constitutive ; nature qui déterminait un mode de contact avec le fluide transporteur éminemment favorable à leur maintien en suspension pendant des laps de temps très prolongés, alors même que l'eau était incapable de transporter les particules minérales les plus fines.

5° — La réalisation de *zones tranquilles* où le dépôt de l'alluvion végétale pouvait s'effectuer était grandement facilitée par la topographie de la lagune houillère et, en particulier, par la *présence de la forêt marécageuse* qui constituait une sorte de *filtre* ou d'*écran* capable d'entraîner plus rapidement le dépôt par précipitation mécanique des particules minérales en suspension dans l'eau.

En effet, par suite de la présence des tiges et des racines le sol accidenté de la forêt houillère devait provoquer une diminution rapide de la *vitesse de l'eau* et, par conséquent, de ses facultés de tenir en suspension les débris minéraux clastiques qui se déposaient alors très rapidement.

Dans ces conditions, la zone des boues minérales terrigènes dépendant de la rive boisée n'occupait qu'une bande assez étroite au large de la forêt houillère et l'alluvion végétale, point de départ des couches de houille, pouvait s'accumuler *en des points relativement peu éloignés de la forêt marécageuse.*

6° — *Vers le large*, le dépôt d'alluvion végétale s'amincissait graduellement, de sorte qu'en certains points l'accumulation de débris organiques étant moins importante et plus lente, les

débris se trouvaient en présence de masses d'organismes destructeurs (microbes) relativement plus considérables. Les rares cuticules et macrospores qui atteignaient ces points et les innombrables microspores déjà très altérées par un flottage prolongé étaient alors fortement attaquées, partiellement gélifiées et désorganisées. Leurs restes mêlés aux vestiges du plancton (algues, infusoires, microbes), du necton (poissons mollusques, crustacés) et aux dépouilles des microorganismes destructeurs (benthos) ont alors donné naissance à des boues organiques point de départ des couches de *Cannel Coal*.

7° — *Plus au large encore*, là où n'arrivaient plus qu'exceptionnellement les débris végétaux terrigènes, il ne s'accumulait sur le fond que les dépouilles du plancton (algues), du necton (poissons, mollusques, crustacés) et du benthos (mollusques, microorganismes, etc.). Ces boues organiques essentiellement planctogènes ont été les points de départ des *Bogheads* ou charbons d'algues, roches que l'on confond ordinairement avec les *Cannel Coals* sous le nom de *Gayets*.

8° — A peine déposée, l'alluvion végétale se trouvait recouverte, soit par la roche stérile du toit, soit par d'autres débris végétaux, circonstance favorisant sa fossilisation. La roche du toit était une formation continue qui se développait en même temps que la couche de houille et qui tendait à recouvrir cette dernière, aussi bien dans le cas de formations régressives, où les limites des boues terrigènes se déplaçant vers le large au fur et à mesure que par le jeu normal de la sédimentation des zones primitivement inondées étaient émergées et acquises à la terre ferme, ce qui entraînait un déplacement de la ligne de rivage vers les zones profondes de la lagune houillère, que dans celui des formations transgressives où les éléments détritiques de la roche du toit avaient des origines d'alluvionnement toutes différentes de celles des accumulations végétales et où la rive se déplaçait en sens inverse.

Ce mode de formation des toits explique très bien la variation très fréquente des roches du toit d'une même veine.

9° — Ainsi définie, la couche de houille et les roches de son toit ne constituent plus deux séries sédimentaires distinctes correspondant à des cycles différents et s'étant développés chacun à des époques bien définies et successives. Elles constituent, au contraire, *deux faciès différents d'un même complexe sédimentaire, faciès se réalisant simultanément dans le temps et dans l'espace*.

Ce caractère n'est pas spécial à la veine et à son toit, il doit être étendu à tous les sédiments houillers et l'on doit admettre que contrairement à la théorie des deux cycles sédimentaires successifs, corollaire obligatoire de la théorie autochtone (th. du tourbage), *tous les sédiments houillers se déposaient simultanément dans la lagune où ils occupaient des zones différentes dont les limites variaient dans le temps, soit par le fait du jeu normal de la sédimentation, soit par celui des subsidences*.

10° — Toutes les houilles étudiées, sans aucune distinction, ont une origine allochtone, et dans l'état actuel de nos connaissances aucun fait d'observation précis ne milite en faveur de l'hypothèse que les sols de certaines zones des forêts marécageuses étaient les lieux de formations analogues à la tourbe ou à l'humus qui s'accumule peu à peu dans certains marécages boisés actuels.

On peut toujours supposer, néanmoins, que dans certaines parties des marécages boisés de telles tourbes et de tels humus se déposaient, mais il semble très douteux que de semblables dépôts aient pu concourir à la formation de houilles proprement dites. Il est infiniment probable

que par suite d'apports minéraux importants, il ne se déposait guère dans ce cas que des boues assez riches en éléments détritiques à partir desquelles se sont différenciés des schistes plus ou moins charbonneux.

D'autre part, il n'est pas prouvé que le sol de la forêt houillère était un *marécage tourbeux*, et d'excellentes raisons militent en faveur de l'hypothèse inverse :

$\alpha$ . — Tout d'abord, il est évident que dans le voisinage du fond de la lagune la lame d'eau qui recouvrait ce sol de végétation *était encore assez riche en oxygène* pour permettre aux arbres qui y prenaient racine de vivre. Il est certain, en effet, que si cette eau avait été pauvre en oxygène ou privée complètement de ce gaz, ces végétaux auraient infailliblement péri asphyxiés. *L'une des conditions* essentielles à la formation de la tourbe, l'absence ou la pauvreté en oxygène susceptible de permettre la fermentation tourbeuse (action des bactéries anaérobies), ne se trouvait donc pas réalisée.

On doit donc choisir entre les deux termes de ce dilemme. *Ou la lame d'eau était trop mince pour permettre la formation de tourbe et alors la croissance des végétaux houillers était possible, ou bien la lame d'eau étant assez épaisse pour permettre la formation de la tourbe toute la végétation se trouvait asphyxiée.*

Il semble donc très probable que les phénomènes d'oxydation étaient trop intenses pour permettre la formation de tourbe sur le sol marécageux de la forêt houillère et que par suite de phénomènes d'altération rapide des débris qui s'y accumulaient, il se déposait tout au plus en ce point un *humus* non susceptible de donner naissance à une roche combustible proprement dite.

$\beta$ . — D'autre part, lorsqu'une végétation arborescente vivant ordinairement sur un sol minéral s'implante ou se développe sur un sol essentiellement organique, comme c'est le cas dans nos tourbières actuelles à certains stades de leur évolution, *cette végétation ne tarde pas à donner des signes de dégénérescence et même à disparaître*. Le changement de régime que constitue la substitution d'un sol organique pauvre en substances minérales au sol normal entraîne l'apparition de formes naines, rabougries, qui ne sont capables de se reproduire que pendant un certain temps. La tourbière ne continue à croître que parce que de nouvelles espèces végétales (mousses) y trouvent leurs conditions de vie les plus favorables. *On peut donc dire que la formation des tourbes autochtones actuelles entraîne comme corollaire obligatoire la destruction à brève échéance de la végétation arborescente.*

Or, à l'époque houillère :

*a* — On ne connaît pas d'espèces naines ou rabougries.

*b* — La végétation est exclusivement arborescente et on ne connaît aucune espèce herbacée susceptible d'avoir joué le rôle des mousses dans nos tourbières actuelles.

La constance des caractères des végétaux houillers et l'absence de cycles de végétation militent donc en faveur de l'opinion que sur les sols de végétation *en activité* il ne se déposait pas de tourbe.

*c* — On objectera à l'argument précédent qu'à l'époque houillère les tourbières ne dépassaient pas le stade des tourbières boisées actuelles. Cette objection doit être écartée car, d'une part, il n'en subsisterait pas moins que les arbres vivant sur le sol végétal auraient dû fatalement présenter les mêmes phénomènes de dégénérescence que les végétaux arborescents des tourbières actuelles et, d'autre part, il est admis aujourd'hui que les tourbes constituées par des débris d'arbres de grande taille sont des *formations allochtones*.

De telles tourbes se forment actuellement dans des *tourbières dites de bois flottés* dont le nom seul est significatif. Tous leurs éléments ont subi un certain *transport*, parfois considérable, par flottage dans l'eau.

Tous les *lignites xyloïdes* intercalés en couches dans des formations continentales gréseuses ou argileuses présentent des caractères de gisement qui les rapprochent étrangement de ceux des couches de houille, et sont, comme l'a reconnu lui-même J. CORNET, des formations de bois flottés *essentiellement allochtones*.

Seules, dans toutes les séries géologiques, les couches de houille d'origine ligneuse ou ligno-cellulosique feraient exception à cette règle.

De plus, il est évident qu'on a exagéré le rôle de l'autochtonie dans les tourbières actuelles où seules la *tourbe de mousse* et *peut-être une partie de la tourbe de roseau* doivent être considérées comme des formations autochtones. Or, il ne viendra jamais à l'idée de personne de comparer les houilles paléozoïques aux tourbes de sphaignes ou de roseaux et il n'existe, incontestablement, entre ces deux types de formation aucun caractère commun hormis celui de dériver toutes deux d'amas de substances organiques d'origine végétale.

En dernière analyse, soutenir la théorie de la formation sur place en ce qui concerne les houilles où les substances ligneuses ont joué un rôle de quelque importance conduit les autochtonistes à se mettre en *opposition absolue* avec le *principe des causes actuelles* sur lequel ils prétendent se fonder.

11<sup>o</sup> — Il existe entre les *lignites xyloïdes* de l'époque secondaire et les *houilles ligneuses* paléozoïques des différences de structure qui peuvent paraître, à première vue, étonnantes dans des types de roches combustibles dérivant tous deux de modes de formation identiques (transport et dépôt par les eaux de fragments de troncs d'arbres).

Dans les premiers, les tissus ligneux se retrouvent à l'état de gros fragments bien déterminables, parfois de branches entières, ils jouent un rôle nettement prépondérant et même essentiel dans la formation des lits de lignite <sup>(1)</sup>.

Dans les houilles ligneuses, au contraire, les tissus ligneux réduits à l'état de lambeaux sont toujours cimentés dans une pâte abondante.

Ces différences s'expliquent facilement par la comparaison des caractères distinctifs des flores houillères et secondaires.

A l'époque secondaire, les matériaux des lits de lignites xyloïdes ont été fournis surtout par des *gymnospermes* et principalement des *conifères* à bois très denses, massifs, à parois fortement lignifiées qui ne se prêtaient guère à un émiettement accentué même après un transport très long. De là l'existence de troncs, de branches entières et de fragments de grandes tailles.

Au contraire, à l'époque carbonifère les arbres géants ne présentaient qu'une lignification accentuée de leurs zones corticales, de sorte que leurs cylindres centraux formés de tissus lâches, cellulosiques ou à peine lignifiés disparaissaient très vite par destruction au cours des phénomènes de transport par flottage et permettait le morcellement et même l'émiettement des écorces, des branches et des tiges.

(1) Tels sont les bois de conifères décrits et figurés par M. le Chanoine Carpentier et provenant de Fourmies, de Montfaux et de Féron. (Voir : [129] Pl. XXIV et XXV).

Tels sont également les bois des lignites de différentes provenances que j'ai étudiés *en surfaces polies* [187].

Les différences, en apparence si tranchées, entre les lignites xyloïdes et les houilles ligneuses tiennent donc uniquement aux caractères anatomiques, en quelque sorte opposés, des arbres des époques secondaire (conifères) et houillère (lycopodiacées arborescentes).

12° — La présence très fréquente de sols de végétation sous la plupart des couches de houille d'origine allochtone s'explique *par une simple superposition* résultant des phénomènes de subsidence (affaissements des aires de dépôt) qui déterminaient eux-mêmes des phénomènes de transgression ou rendaient possible par la suite le développement de phénomènes de régression au cours desquels la lagune houillère se comblait peu à peu.

13° — Cette théorie allochtone fournit des explications satisfaisantes *de l'origine du Fusain* et du mode de formation des différentes variétés de houilles à partir de dépôts de deux types différents.

En résumé, la théorie de la formation de la houille, par alluvionnement, réduisant les phénomènes de transports à un simple flottage *dans les limites de la lagune houillère*, n'est en contradiction avec aucun fait d'observation et permet seule d'expliquer la structure microscopique des nombreux échantillons de houille étudiés et leur stratification très fine qui n'est égalée dans aucune autre roche sédimentaire. *Elle explique*, en outre, d'une façon très simple tous les faits observés dans les formations houillères *sans faire intervenir d'autres actions que celles que l'on peut voir jouer dans les formations actuelles ou qui ont présidé à la genèse des autres séries sédimentaires*.

En dernière analyse, cette théorie allochtone restreinte à ces nouvelles limites et assez voisine de celle confusément exprimée dans certains travaux anciens de GRAND'EURY rend parfaitement compte de tous les faits observés et permet même d'élucider certains mystères que la théorie autochtone s'était révélée impuissante à éclaircir. A l'inverse de cette dernière, qui conduit à admettre que l'époque houillère présente au point de vue sédimentaire le privilège du développement de phénomènes très particuliers, *elle conduit au contraire à considérer qu'à cette époque les lois de la sédimentation ont joué normalement comme à l'époque actuelle ou dans les autres périodes géologiques et que seules les conditions particulières du milieu (luxuriance d'une végétation à caractères très spéciaux) ont déterminé la formation des couches de houille en rendant possible des déséquilibres biologiques dont il sera question plus loin*.

## TROISIÈME PARTIE

# LA DIFFÉRENCIATION DES HOUILLES

### SOMMAIRE

CHAPITRE XXVII<sup>c</sup>. — La différenciation des houilles. — *Les théories en présence.*

CHAPITRE XXVIII<sup>c</sup>. — La différenciation des houilles. — *Les faits observés dans le gisement du Nord de la France devant les théories génétiques.*

CHAPITRE XXIX<sup>c</sup>. — La différenciation des houilles. — *Son mécanisme dans le Nord de la France.*

Dans tout ce qui précède, je n'ai abordé qu'incidemment l'examen des causes de la différenciation des houilles et des roches combustibles et je me suis borné à constater, comme nous l'enseigne l'observation microscopique, que les accumulations végétales présentaient dès l'origine des différences de composition chimique en rapport avec la nature des substances végétales qui y étaient prédominantes.

Nous avons vu que ces faits d'observation m'ont amené à distinguer les trois grands types de dépôts suivants dont le premier se subdivise lui-même en deux types secondaires.

1<sup>o</sup> — *Les dépôts ligno-cellulosiques* où les débris végétaux ne sont pratiquement représentés que par des fragments de tissus ligneux (bois, sclérenchyme) et où prédominaient parfois des gels colloïdaux provenant surtout de l'altération de la cellulose et des substances voisines, dépôts où l'on peut distinguer les *dépôts cellulosiques* et les *dépôts ligneux* qui sont devenus les points de départ des *houilles anthraciteuses* (houilles cellulosiques), des *houilles à coke* (houilles ligneuses) et plus rarement des *Pseudo-Cannel-Coals* correspondant à l'un de ces deux types de houille.

2<sup>o</sup> — *Les dépôts riches en cutine* où les débris végétaux cutinisés (spores, cuticules) jouaient des rôles nettement prépondérants, dépôts qui ont donné naissance aux *houilles bitumineuses* (h. de spores et h. de cuticules) et aux *Cannel-Coals* (charbons de microspores).

3<sup>o</sup> — *Les dépôts gélosiques ou oléagineux* d'origine planctique, caractérisés surtout par l'accumulation de nombreuses algues microscopiques, dépôts à partir desquels se sont individualisés les *Bogheads* ou *charbons d'algues*.

Nous avons vu également que ces différentes roches combustibles auxquelles correspondent des roches mixtes (Livre II, p. 414) caractérisées par les mêmes débris végétaux peuvent être classées en deux grands groupes : les *roches charbonneuses* (houilles cellulosiques, houilles ligneuses, Pseudo-Cannel-Coals, schistes et grès charbonneux) et les *roches bitumineuses* (houilles de spores, houilles de cuticules, Cannel-Coals, Bogheads, schistes et grès bitumineux).

Ces différences originelles des dépôts initiaux révélées par le microscope ne permettent d'expliquer que la genèse des grands types lithologiques et chimiques de combustibles, *mais ne rendent pas compte de la formation des nombreuses variétés que l'on rencontre dans chacun de ces grands types considérés isolément.*

En particulier, au point de vue qui nous occupe plus spécialement ici, la différenciation des dépôts initiaux explique bien, dans son ensemble, la genèse des anthracites et des combustibles maigres, des houilles à coke et des houilles bitumineuses, mais se révèle par contre impuissante à expliquer, d'une part, la formation des nombreuses variétés de combustibles anthraciteux de charbons à coke ou de houilles bitumineuses et, d'autre part, l'existence de certains types rares et anormaux tels que les anthracites formés à partir de dépôts riches en cutine ou de dépôts ligneux.

J'ai pu, en effet, constater qu'entre des charbons de spores à 45 % de matières volatiles et d'autres charbons du même type à teneur en M. V. voisine de 26 % il n'existe aucune différence lithologique importante susceptible d'expliquer des écarts aussi considérables. De même, si le nombre et l'état de conservation des débris ligneux différencient normalement les houilles à coke des combustibles anthraciteux, aucun caractère pétrographique net ne paraît expliquer pourquoi les teneurs en M. V. des charbons à coke oscillent entre 26 et 18 % et celles des charbons anthraciteux entre 18 % et seulement quelques unités pour cent.

Or, il ne paraît pas douteux que les trois types de dépôts (dépôts cellulosiques, dépôts ligneux, dépôts riches en cutine) devaient présenter respectivement à l'origine des compositions chimiques à peu près constantes, de sorte que l'on doit admettre que les différences observées actuellement entre les diverses variétés que l'on rencontre parmi les grands types de houille qui en dérivent résultent de phénomènes qui se sont développés postérieurement à la genèse de chacun de ces types de dépôts initiaux.

Ce sont ces phénomènes qui ne pouvaient consister qu'en un amaigrissement des accumulations végétales primitives ou, ce qui revient au même, en leur enrichissement en carbone que j'étudierai dans les chapitres suivants après avoir passé rapidement en revue dans le premier d'entre eux les diverses théories qui ont été proposées antérieurement pour expliquer la différenciation des nombreuses variétés de houilles.

Avant d'entrer dans le détail de cette question, je tiens à rappeler ici que, contrairement à une idée assez généralement admise, la transformation des substances végétales organisées ou autres en houille amorphe ne coïncide pas forcément avec un amaigrissement considérable car, comme nous l'avons vu précédemment, les ciments (pâtes ou substances fondamentales) des lits hétérogènes et les lits de houille brillante (Vitrain) des anthracites, des houilles à coke et des houilles bitumineuses ne sont pas identiques, mais présentent dans chaque cas des compositions chimiques différentes des autres, compositions qui sont celles de la roche combustible qui les contient considérée dans son ensemble.



## CHAPITRE VINGT-SEPTIÈME

**Les Théories en présence**

## SOMMAIRE

- I. — LES THÉORIES GÉNÉRALES. — La loi de Hilt, sa véritable signification. — Idées générales émises par M. M. ARBER, CH. BARROIS, J. CORNET, STRAHAN, POLLARD et RADLEY.
- II. — LA THÉORIE MÉTAMORPHIQUE. — Impossibilité de sa généralisation dans le bassin du Nord de la France et de la Belgique et dans les gisements voisins.
- III. — LA THÉORIE DIAGÉNÉTIQUE. — Exactitude de son principe et sa réalité dans le gisement franco-belge.
- IV. — LES THÉORIES ADMETTANT LA DIFFÉRENCIATION PRIMORDIALE DES DÉPÔTS INITIAUX ET L'ACTION D'UNE DIAGÉNÈSE PRÉCOCE DES ACCUMULATIONS VÉGÉTALES. — Théorie de H. POTONIE pour les combustibles récents inapplicable aux charbons paléozoïques. — Théorie proposée.

## I

**Théories générales**

La question des causes de la différenciation des charbons d'un même bassin a fréquemment attiré l'attention de ceux qui ont étudié les houilles et leurs gisements à des points de vue très divers.

L'idée la plus anciennement admise sur ce point est celle, connue sous le nom de « *Loi de Hilt* », qui consiste à admettre que les couches de houille d'un même gisement *sont d'autant plus pauvres en matières volatiles qu'elles sont plus anciennes et par conséquent plus profondes*. Cette loi fait donc intervenir avec la *durée* plus ou moins importante des phénomènes les actions des *pressions* et des *élevations de température* qui se manifestent en profondeur dans les couches enfouies sous de grandes épaisseurs de sédiments.

Dans le Bassin houiller du Nord de la France la loi de Hilt a été longtemps considérée comme vérifiée à un moment où l'on admettait que les houilles anthraciteuses du bord nord du gisement étant les plus anciennes et les houilles très grasses du Sud les plus récentes, les houilles demi grasses et trois quart grasses de la zone médiane étaient supposées représenter des formations d'âge intermédiaire <sup>(1)</sup>.

(1) On distinguait alors la superposition des quatre zones suivantes :

*Zone de Bully-Grenay* ou des charbons à gaz.

*Zone de Denain* ou des charbons gras.

*Zone d'Anzin* ou des charbons demi-gras.

*Zone de Vicoigne* ou des charbons maigres.

La découverte et l'étude par M. Ch. BARROIS des horizons paléontologiques repères [27, 28] est venue modifier cette conception de la structure stratigraphique du gisement en montrant que les houilles grasses du Sud sont de même âge que les houilles maigres du Nord, *toute la série houillère représentant, en réalité, la répétition à quatre reprises différentes, à la faveur de plis, d'une seule et même zone.*

Dans ces conditions, la loi de Hilt cessait d'être applicable dans sa généralité à toute l'étendue du gisement et ne se trouvait plus vérifiée que dans l'épaisseur d'un faisceau de veines de houille. Susceptible d'être encore invoquée pour expliquer l'amaigrissement progressif des veines d'un même faisceau, elle ne pouvait plus rendre compte de la genèse des divers types de houilles d'une même formation géologique <sup>(1)</sup>.

En dernière analyse, la loi de HILT ne fait que traduire les résultats de l'évolution lente de toutes les houilles d'un gisement, évolution qui est un phénomène général s'exerçant avec des intensités à peu près égales sur l'ensemble de chaque couche et incapable, par conséquent, d'expliquer la différenciation des diverses parties d'une même veine sur lesquelles elle détermine des modifications parallèles et d'intensités à peu près égales.

Certaines recherches de M. Ch. BARROIS ([24], p.185) l'avaient amené à admettre pour expliquer les variations des teneurs en matières volatiles des divers sillons d'une même veine : « la différenciation primordiale des accumulations végétales et la diversité des conditions de dépôt », facteurs qui, comme nous le verrons plus loin, sont bien ceux qui ont présidé à la genèse des nombreuses variétés de houille exploitées dans notre région.

JULES CORNET estimait ([137], § 1.124) que les variations de la composition des houilles paraissent dues en partie à des *causes primitives*, contemporaines de l'accumulation, et en partie à des *causes secondaires* postérieures à l'enfouissement.

MM. STRAHAN, POLLARD et RADLEY [622] ont admis, au contraire, que les différences entre les anthracites et les houilles *sont primitives* et dues uniquement à la diversité de nature des matières végétales constitutives et aux transformations bio-chimiques que ces substances ont subies avant leur enfouissement. De même, d'après M. ARBER [3] l'on devrait distinguer autant de types de dépôts initiaux correspondant aux Cannel-Coals, aux houilles proprement dites et aux anthracites, conclusion qui dans son ensemble est très voisine de celle que j'ai adoptée.

Actuellement, les théories plus spécialisées émises pour expliquer la différenciation des houilles peuvent être ramenées à deux :

1<sup>o</sup> — *La théorie métamorphique,*

2<sup>o</sup> — *La théorie diagénétique,*

théories dont j'examinerai successivement les possibilités d'application au Bassin houiller du Nord et du Pas de Calais.

(1) A la notion de *superposition stratigraphique* qui cessait d'être applicable, du moins dans sa généralité, l'on a tenté de substituer celle de la *profondeur d'enfouissement* dans le gisement. On a été ainsi amené à rechercher si les houilles maigres ne correspondent pas à celles qui ont été portées aux niveaux les plus inférieurs. D'après J. CORNET ([137], § 1.123) *il n'existe pas de rapport constant entre la composition des charbons et la position qu'ils occupent dans les géosynclinaux houillers.*

## II

## Théorie métamorphique

*Impossibilité de sa généralisation dans le gisement franco-belge  
et dans les Bassins houillers voisins.*

Les exemples de *métamorphisme de contact* présentés par les couches de houille au voisinage de roches intrusives (surtout de roches de filons) quoiqu'assez rares sont aujourd'hui bien connus. Ils ont été étudiés notamment par DELESSE ([156], p. 195) et par H. FAYOL ([225], p. 45 et Fig. 16) qui ont montré le caractère essentiellement local des transformations subies par la roche combustible, transformations qui consistent en une *cokéfaction* ou une *graphitisation* ne s'observant guère qu'à quelques mètres et souvent moins du filon intrusif.

Aussi les partisans d'une cause métamorphique de la différenciation des charbons invoquent-ils surtout l'action soit du *métamorphisme régional*, soit du *métamorphisme dynamique*.

Dans notre Bassin houiller, les actions susceptibles d'être attribuées au *métamorphisme régional* trouvent leur expression dans la *loi de Hilt* qui explique l'amaigrissement très lent dans une série stratigraphique donnée des couches de houille superposées <sup>(1)</sup>.

Quant aux actions purement dynamiques génératrices du *dynamométamorphisme*, dans le sens strict du mot, il y a lieu de ne pas perdre de vue les résultats des expériences de SPRING [574] qui ont montré que les pressions même considérables sont incapables de produire des houilles à partir des combustibles considérés comme moins évolués tels que les tourbes. En effet, SPRING a montré qu'en soumettant des tourbes à des pressions variant entre 6.000 et 20.000 atmosphères l'on peut obtenir des substances noires, brillantes et dures ayant les apparences physiques de la houille, mais conservant les propriétés chimiques des tourbes initiales.

Dans ces conditions, les partisans de la théorie de la différenciation des houilles par dynamométamorphisme ont été amenés à envisager la *transformation préalable de l'énergie mécanique en une autre forme d'énergie* susceptible d'amener les transformations chimiques constatées.

Une telle théorie a été développée en 1924 par M. DAVID WHITE dans un mémoire [672] <sup>(2)</sup> traduit de l'anglais par M. M. LEGRAYE qui l'a reprise récemment et appliquée aux charbons du Bassin houiller de Liège [398 bis].

Pour expliquer la diversité des combustibles américains M. D. WHITE a fait intervenir le jeu combiné de certaines *différenciations des dépôts initiaux* et des *actions métamorphiques*. Selon lui le premier phénomène résulterait surtout d'*évolutions différentes*, dans des conditions de dépôt variées, d'accumulations végétales identiques, tandis que le second consisterait dans le dévelop-

(1) Encore conviendrait-il de se demander si dans ce cas ces actions peuvent être attribuées dans un gisement où il n'existe aucune roche métamorphique à un *métamorphisme régional* ou *géothermal*.

Il semble bien en effet que les actions qui ont déterminé l'amaigrissement très faible avec la profondeur que traduit la *loi de Hilt* entrent plutôt dans le cadre des *actions diagénétiques tardives* et que ce dernier terme serait plus conforme au langage employé couramment en pétrographie.

(2) Voir aussi [673] et [674].

pement d'un dynamométamorphisme générateur de pressions considérables et d'élévations de température importantes capables d'entraîner une évolution chimique du combustible, évolution que M. D. WHITE qualifie de *dynamochimical*.

Quant aux régions des bassins houillers où ces actions chimiques d'origine dynamique ont produit leur maximum d'effet, l'on admet généralement qu'elles coïncident avec les zones les plus dérangées et les plus affectées par les phénomènes tectoniques.

Dans le but de pouvoir appliquer cette théorie au Bassin de Liège, M. M. LEGRAYE [398<sup>bis</sup>] admet au contraire que dans les zones profondément bouleversées telles que le bord sud du Bassin franco-belge, les efforts tectoniques n'ont guère été transformés qu'en énergie mécanique et n'ont entraîné qu'une évolution chimique très faible des roches combustibles, tandis que dans les régions où les couches sont plus régulières (bord nord du même bassin) les dits efforts tectoniques ne pouvant se dépenser sous forme d'énergie mécanique auraient déterminé des élévations de température et le développement de fortes pressions qui se seraient manifestées par des *évolutions chimiques* qui ont été d'autant plus importantes que l'on se rapproche de la bordure nord du bassin actuel.

Sans discuter en elle-même cette dernière théorie, je me bornerai à montrer ici qu'elle ne permet pas d'expliquer l'ensemble des faits bien connus depuis longtemps qui ont pu être observés, d'une part, dans le gisement franco-belgo-westphalien et, d'autre part, dans le gisement de la Campine et du Limbourg qui, bien que faisant partie d'un même bassin primitif, ont subi par la suite des actions tectoniques variées. Ces faits d'observation incompatibles avec la théorie dynamométamorphique sont les suivants :

1<sup>o</sup> — Dans le bassin franco-belge les phénomènes de charriage et de renversement se sont produits sur la bordure sud, c'est-à-dire dans les régions où l'on rencontre des combustibles à hautes teneurs en matières volatiles. Les charbons les plus maigres existent, au contraire, dans la région nord du gisement là où les couches de houille sont plus régulières et ne présentent pas les bouleversements qui les caractérisent dans la partie méridionale du gisement.

2<sup>o</sup> — Par contre, en Westphalie, pour une structure d'ensemble du gisement qui peut-être comparée à celle du gisement franco-belge, les houilles maigres occupent une situation exactement inverse puisqu'elles se rencontrent dans les parties plissées alors que les houilles les plus grasses se trouvent dans les régions peu dérangées. Dans ce bassin westphalien, dont les gisements franco-belges ne représentent que des prolongements, *la position des houilles maigres et autres par rapport aux poussées tectoniques est exactement inverse de celle que l'on observe en Belgique et en France.*

3<sup>o</sup> — Dans le Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais, la théorie du métamorphisme dynamique explique bien l'amaigrissement progressif dans la direction Sud-Nord observée dans la majeure partie du gisement, mais ne peut rendre compte de l'amaigrissement également progressif en sens inverse (Nord-Sud) que l'on constate sur la bordure sud du bassin où l'on voit les houilles bitumineuses s'appauvrir en matières volatiles et passer graduellement à des houilles à coke ; fait que montre bien la carte au 1/80000 publiée par la Chambre des Houillères du Nord et du Pas-de-Calais, la carte schématique annexée à ce mémoire (Pl. B) et sur lequel j'ai insisté dans le chapitre XX<sup>e</sup> (p. 389).

Enfin, si l'on admet que dans le Bassin houiller franco-belge la différenciation des charbons dérivant de tourbes à l'origine à peu près identiques résulte presque exclusivement d'actions métamorphiques déterminées par les pressions orogéniques (dynamométamorphisme), *il est évident que, a contrario, dans les bassins qui n'ont pas été plissés et faillés les roches combustibles primitivement semblables n'ayant pas subi les dites actions métamorphiques devraient n'appartenir aujourd'hui qu'à un seul type de combustible*, type correspondant au moins à celui qui est le plus riche en matières volatiles des gisements où la différenciation s'est produite.

Autrement dit, si l'on accepte la théorie de dynamométamorphisme l'on arrive à cette conclusion que dans un bassin houiller tel que celui de la Campine (Belgique) ou du Limbourg hollandais, qui grâce à la présence de l'anticlinal ou horst du Brabant a été protégé contre la poussée hercynienne qui a affecté si profondément les couches du synclinal de Namur (Bassin houiller franco-belge), *l'on ne devrait rencontrer qu'un seul type de combustible* caractérisé par une évolution très faible.

Or, il n'en est nullement ainsi, car l'on rencontre dans le Bassin houiller de la Campine et du Limbourg hollandais *des combustibles aussi variés que dans le gisement franco-belge*, combustibles qui peuvent être classés dans les trois grandes variétés chimiques que j'ai distinguées (Chapitre XIX<sup>e</sup>) sous les noms de houilles bitumineuses (M. V. > 26 %), de houilles à coke (26 % > M. V. > 18 %) et de houilles anthraciteuses (18 % > M. V. > 5 %) <sup>(1)</sup>.

Ces observations nous permettent de constater que les évolutions des couches de houille ont été identiques dans le Bassin franco-belge où les efforts tectoniques ont été intenses et dans le Bassin de la Campine et du Limbourg où les couches, à peu près horizontales, ont été à peine affectées par la poussée hercynienne et que, par conséquent, le métamorphisme dynamique n'a pas joué le rôle essentiel dans l'évolution des combustibles de ces gisements.

En dernière analyse, la théorie du dynamométamorphisme, applicable à la rigueur à certaines portions limitées du gisement franco-belge considérée isolément, *n'explique pas, d'une part, la formation et la répartition des divers types de houille et d'anthracite dans ce gisement*, cette théorie se trouvant, d'autre part, en contradiction avec de nombreux faits d'observation que nous révèle l'étude du gisement en question ou des bassins houillers voisins.

### III

#### **Théorie diagénétique**

Les *théories diagénétiques*, qui en définitive se résument en une seule dont elles représentent diverses modalités, s'opposent à la *théorie du métamorphisme* que je viens d'exposer. Avant de les passer en revue, pour éviter toute équivoque, il convient de faire observer que ces théories font presque uniquement intervenir les *phénomènes de diagénèse précoces* des accumulations végétales

(1) Je rappellerai ici pour mémoire que d'après un excellent travail de M. DE BOOSERÉ [106] sur les houilles de la Campine et mes propres observations sur les charbons du Limbourg hollandais, l'on rencontre dans ce bassin houiller les mêmes types pétrographiques et chimiques de houille que j'ai distingués et décrits dans le gisement franco-belge.

à l'exclusion des phénomènes diagénétiques tardifs qui se confondent, en réalité, avec ce que l'on a appelé à tort ou à raison des actions métamorphiques.

Dans le Bassin houiller du Nord, certaines observations avaient conduit M. Ch. BARROIS à écarter la possibilité d'admettre l'action différentielle des phénomènes de diagénèse tardive et lui avait permis de montrer *que la différenciation des charbons était antérieure à l'ouverture des failles* [12].

Il est du reste difficile d'admettre que les *actions diagénétiques tardives* aient pu exercer sur l'évolution des couches de houille une influence importante, car il est évident que de telles actions qui se produisent encore de nos jours <sup>(1)</sup> *n'ont pu avoir que des intensités extrêmement faibles*. S'il en était autrement, étant donnée leur continuité dans le temps, elles auraient fatalement entraîné l'an-thracitisation de toutes les houilles d'un gisement. Loin de provoquer certaines différenciations *elles auraient donc abouti au phénomène exactement inverse d'une uniformisation*.

Toutes ces théories font intervenir *une évolution précoce des accumulations initiales* qu'elles attribuent surtout à des *évolutions chimiques différentes* déterminées elles-mêmes par certaines variations dans les *conditions de dépôt* <sup>(2)</sup>.

C'est une théorie de ce genre qui avait été inspirée à MARCEL BERTRAND <sup>(3)</sup> par le fait que dans la plupart des gisements les courbes d'égal teneur en matières volatiles d'une même veine (courbes isoanthracitiques) présentent des tracés qui rappellent à s'y méprendre ceux des courbes de niveau d'une dépression naturelle. Dans ces conditions, si l'on admet qu'il y a identité entre ces courbes isoanthracitiques et les courbes de niveau de la lagune houillère, l'on arrive à cette conclusion *que l'épaisseur de la lame d'eau recouvrant l'accumulation végétale variable suivant les lieux jouait un rôle prépondérant dans l'évolution du dépôt organique*. Cette épaisseur variable déterminait, en effet, des milieux très différents quant à leur teneur en oxygène. Dans les régions à lame d'eau peu épaisse des *oxydations accentuées* auraient déterminé l'amaigrissement des couches de houille, tandis que dans des zones où cette lame d'eau était relativement considérable des *oxydations ménagées* laissaient subsister des combustibles riches en matières volatiles. De cette façon, l'approfondissement lent et continu du fond du bassin de sédimentation suivant une direction donnée expliquerait bien l'augmentation progressive des teneurs en matières volatiles suivant cette même direction.

Ce sont des théories analogues qui ont été admises par divers auteurs, notamment par MM. J. J. STEVENSON <sup>(4)</sup>, X. STAINIER [592] et P. GÉNY [254].

Dans le bassin houiller franco-belge l'exactitude de cette manière de voir se trouve vérifiée, mais il convient d'ajouter à cette cause de différenciation des dépôts initiaux une autre cause dont je parlerai dans le développement suivant.

(1) Il n'est pas douteux que les charbons comme les autres roches se modifient lentement. En ce qui les concerne, les dégagements lents ou instantanés de grisou et les avancements brusques des fronts de taille signalés par M. L. MORIN [451] nous fournissent des preuves de ces modifications.

(2) Cette différenciation des accumulations initiales est toute différente de celle que j'ai admise jusqu'ici dans le cours de ce volume et qui *consiste en la diversité des substances végétales initiales*.

(3) Cette théorie n'a pas été publiée par MARCEL BERTRAND, mais a été constamment enseignée par lui à l'École des Mines de Paris comme l'a rappelé PIERRE TERMIER en 1898. Voir : [631], p. 44.

(4) Voir : CH. BARROIS. — *Ann. Soc. Géol. Nord*, T. XL, p. 155.

## IV

**Théorie admettant la différenciation initiale  
des accumulations primordiales et leur évolution variée grâce  
à des actions diagénétiques précoces**

H. POTONIÉ a montré que les accumulations végétales qui se déposent sous nos yeux peuvent être rapportées à deux types. ' .

1<sup>o</sup> — les *accumulations humiques* dont le type le plus fréquent est la tourbe,

2<sup>o</sup> — les *accumulations sapropéliennes* représentées aujourd'hui par les dépôts d'algues gélosiques.

Les différences originelles existant entre ces deux types de dépôt ont pu, selon H. POTONIÉ, subir certaines modifications (atténuation ou renforcement) suivant les circonstances dans lesquelles se sont produites les évolutions précoces des accumulations en question qui consistent :

a. — en une *carbonisation* affectant les dépôts humiques,

b. — en une *bituminisation* <sup>(1)</sup> s'exerçant sur les dépôts sapropéliens.

Nous avons vu que cette distinction faite très justement dans les formations actuelles ne s'applique pas aux houilles paléozoïques où, contrairement à l'opinion émise par H. POTONIÉ, les houilles mates ne sont pas des formations sapropéliennes ; seuls les Bogheads, les Cannel-Coals et les Pseudo-Cannel-Coals de l'époque houillère contenant les fossiles caractéristiques de telles formations.

Dans la série des combustibles houillers, la théorie de H. POTONIÉ explique donc, tout au plus, les différences qui caractérisent, d'une part, les charbons spéciaux que les mineurs groupent sous l'appellation de « *Gayets* » et, d'autre part, les *houilles proprement dites*, mais laisse tout entière la question des causes de la différenciation des diverses variétés de houilles.

L'étude microscopique de toutes les variétés de houilles du Nord de la France et de leur mode de gisement m'a conduit à admettre, pour expliquer leur formation, la théorie suivante qui a fait l'objet de publications antérieures <sup>(2)</sup>, théorie que je résumerai comme conclusion du présent chapitre.

α. — Des *différences initiales* dues à la diversité de nature des débris végétaux qui ont concouru à la genèse des accumulations organiques *ont provoqué la formation simultanée de trois types de dépôt qui, en règle générale, sont devenus les points de départ des trois grands types chimiques de houille* que sont les houilles bitumineuses (h. de cutine), les houilles à coke (h. ligneuses) et les houilles anthraciteuses (h. celluloseuses).

β. — Des *conditions de gisement différentes*, telles que des variations d'épaisseur de la lame d'eau, le calme ou l'agitation de l'eau, etc..., *ont déterminé des évolutions chimiques précoces* qui ont affecté différemment, suivant les régions, chaque type de dépôt initial en permettant ainsi la formation à partir de chacun d'eux *de toutes les variétés de combustibles que l'on observe aujourd'hui dans chacun des types* que j'ai énumérés à la fin de l'alinéa précédent.

(1) Pour la définition de ces termes voir [476].

(2) Voir notamment : [208], [211 bis], [211 ter].

## CHAPITRE VINGT-HUITIÈME

**La différenciation des houilles**  
**Les faits observés dans le gisement du Nord de la France**  
**devant les théories génétiques**

## SOMMAIRE

- I. — POSITION DU GISEMENT ACTUEL DANS LE BASSIN DE SÉDIMENTATION PRIMITIF. Caractères généraux des rives septentrionale et méridionale de ce bassin de sédimentation.
- II. — LES CAUSES INITIALES DE LA DIFFÉRENCIATION DES CHARBONS. Diversité des accumulations végétales primordiales. Formation des grands types lithologiques et chimiques de houille.
- II. — LES AGENTS DE L'ÉVOLUTION DES ACCUMULATIONS VÉGÉTALES. — 1<sup>o</sup> — Importance des phénomènes précoces d'amaigrissement. — 2<sup>o</sup> — Nature des phénomènes d'amaigrissement. — Formation des variétés de combustibles appartenant à chaque grand type lithologique et chimique.

La coordination des faits d'observation mis en évidence par tous les chercheurs qui ont abordé, à des points de vue très différents, les problèmes que pose le Bassin houiller du Nord de la France et de la Belgique avec les résultats d'ensemble de l'étude microscopique des houilles qui a fait l'objet du Livre premier de ce mémoire m'ont amené à admettre pour causes de la différenciation des divers types de houille du Nord et du Pas-de-Calais *la superposition de deux groupes d'actions qui ont provoqué* :

1<sup>o</sup> — La formation d'accumulations végétales initialement différentes,

2<sup>o</sup> — Une diagénèse très précoce de chaque type d'accumulation susceptible d'avoir abouti à des stades d'évolutions variés.

L'étude de ces deux séries d'actions qui ont déterminé *un classement mécanique des débris végétaux* et des évolutions chimiques, dont les différences sont liées à *l'épaisseur de la lame d'eau recouvrant l'accumulation végétale en voie de dépôt*, font intervenir surtout *la notion de la distance entre l'aire de sédimentation et la rive où croissait la forêt marécageuse*; de sorte qu'avant d'aborder utilement l'étude des dites actions, il convient tout d'abord de rechercher quelle était la position du gisement actuel dans le bassin de sédimentation primitif.



## I

**Position du gisement actuel dans le Bassin de sédimentation primitif**

Ce problème est d'autant plus difficile à résoudre que le gisement actuel profondément plissé et faillé ne représente qu'une partie seulement du bassin de sédimentation primitif dont certaines régions ont été enlevées par les phénomènes d'érosion qui ont provoqué le démantèlement de cette partie de la chaîne hercynienne. C'est ce fait que signalait en 1909 M. Ch. BARROIS lorsqu'il a écrit ([17], p. 297-298) : « Le bassin houiller du Nord ne mérite pas, au sens géologique de ce terme, le nom de bassin sous lequel il est généralement désigné. *Il correspond seulement, en effet, à une simple tranche du bassin synclinal, long et étroit, qui s'étend de la Westphalie au Sud du Pays de Galles en passant par Liège, Charleroi, Mons, Valenciennes, Douai et Lens* ».

De plus, des parties restantes nous ne connaissons *que les portions synclinales* de plis dissymétriques dont l'un des flancs se résout le plus souvent en faille. D'autre part, la monotonie des caractères des roches stériles et en particulier celle des grès sur laquelle a insisté M. LUCIEN CAYEUX [132], l'allure lenticulaire des couches et les variations fréquentes, tant dans le sens horizontal que dans le sens vertical, des faciès lithologiques font que les données de ce problème sont très complexes.

Cependant, un certain nombre de faits d'observations précis, mis en évidence par des recherches minutieuses, permettent aujourd'hui de déterminer d'une façon satisfaisante la configuration générale que présentait notre région à l'époque houillère et de déterminer, avec une approximation suffisante, les limites du bassin de sédimentation et des aires continentales.

Ces faits d'observation que je rappellerai tout d'abord sont les suivants :

1<sup>o</sup> — Étant donnée l'absence ou du moins la rareté de cailloux et de galets dévonien, siluriens et cambrien dans les poudingues et grès houillers où ils ont été étudiés par M. Ch. BARROIS et d'autres chercheurs, l'on doit admettre que le massif ardennais, d'une part, et le massif siluro-cambrien du Brabant, d'autre part, n'étaient pas entièrement émergés à l'époque carbonifère et se trouvaient protégés par un manteau de sédiments houillers.

2<sup>o</sup> — Cette dernière manière de voir se trouve confirmée par le fait qu'inversement les cailloux et galets des conglomérats houillers sont surtout représentés par des blocs de grès ou de clayat empruntés aux couches houillères précédemment formées. La fréquence relative des galets de houille et de charbons spéciaux (Cannel-Coals, Bogheads) et la présence presque constante dans certains grès houillers <sup>(1)</sup> de grains de houille clastiques nous apportent, d'ailleurs, la preuve d'un remaniement très précoce des couches houillères récemment formées dont les affleurements constituaient les aires continentales qui ont fourni, au cours des phénomènes d'érosion, les éléments détritiques qui s'accumulaient dans la lagune.

3<sup>o</sup> — Ces remaniements précoces des sédiments houillers expliquent les caractères généraux des grès houillers de nos régions mis en évidence par M. LUCIEN CAYEUX ([132], p. 221 à 233) qui a montré qu'à l'inverse des grès stéphaniens du centre de la France, les grès westphaliens du bassin houiller franco-belge résultent d'une préparation mécanique rappelant à s'y méprendre celle des éléments des grès marins et signale la constance de leur ciment argileux bien développé.

(1) Dans certains grès de la concession de Bruay par exemple (Voir : Chapitre XIII<sup>e</sup>, p. 268).

La présence également constante, en quantités souvent assez faibles, de cristaux de feldspath et de mica mélangés aux grains de quartz bien calibrés vient confirmer cette manière de voir.

Étant donné la largeur relativement peu considérable du synclinal houiller et le mode de formation des sédiments qui s'y sont accumulés, il est, en effet, probable qu'avant leur mise en place dans les couches où nous les trouvons, les éléments des grès houillers ont pu subir plusieurs remaniements successifs qui expliquent en même temps le calibrage rigoureux des grains de quartz et la formation de substances argileuses à partir des cristaux de feldspath et de mica blanc qui, quoique toujours présents, ne sont jamais très abondants comme l'a montré M. L. CAYEUX. Des remaniements successifs et des transports répétés de ces éléments sur des distances relativement faibles auraient finalement abouti au même résultat que les transports plus prolongés qui ont affectés les éléments des sables qui sont devenus les points de départ des grès marins avec lesquels les grès westphaliens présentent tant d'analogies.

4° — La fréquence relative des galets de roches cristallines parmi ceux qui ont été étudiés par M. Ch. BARROIS [14] permet d'affirmer que des affleurements constitués par des roches intrusives (granites) ou par des roches métamorphiques affleuraient dans des régions qui ne devaient pas être très éloignées du bassin de sédimentation.

5° — La présence constante, même en quantités assez faibles, dans les grès westphaliens de cristaux de feldspath (orthose et plagioclases) et de mica blanc ainsi que l'existence de grès micacés psammitiques, signalés par M. L. CAYEUX, conduisent à admettre que les massifs granitiques ou gneissiques dont proviennent ces éléments détritiques n'étaient pas très éloignés du bassin de dépôt, car ces minéraux disparaissent assez vite et se transforment en argile au cours d'un transport tant soit peu prolongé.

6° — La position de ces massifs granitiques ou gneissiques, par rapport au gisement actuel, a pu être déterminée avec précision grâce aux belles recherches de MM. Ch. BARROIS et X. STAINIER qui, poursuivies dans des domaines différents, ont abouti à des conclusions identiques se confirmant et se complétant mutuellement.

L'étude des galets exotiques rencontrés dans certains conglomérats et même dans certaines veines de houille <sup>(1)</sup> a permis à M. Ch. BARROIS d'attribuer à ces galets de granites, de gneiss et de micaschistes une origine méridionale [29] et de mettre ainsi en évidence, au Sud du gisement actuel, l'existence d'une aire continentale en partie formée par des affleurements de roches cristallines intrusives ou métamorphiques.

L'étude de la distribution des cristaux de feldspath et des variations de grosseur des dits cristaux dans certains grès houillers a amené M. X. STAINIER [592] à attribuer aux éléments détritiques des roches examinées une origine méridionale <sup>(2)</sup>.

Ces considérations ont conduit JULES CORNET à admettre, il est vrai sous la forme dubitative, que les roches cristallines qui ont fourni les éléments de la plupart des sédiments houillers provenaient des régions archéennes du Plateau central, du Morvan ou des Vosges, peut être aussi de massifs anciens aujourd'hui cachés sous les terrains secondaires du Bassin de Paris <sup>(3)</sup>.

(1) Consulter notamment : CH. BARROIS, [14], [18], [22].

(2) Il y a lieu de rapprocher de cette conclusion le fait que les auteurs anglais admettent qu'une partie au moins des sédiments des formations houillères du Pays de Calles provient d'aires continentales situées au Sud-Ouest de ce gisement. Consulter à ce sujet : A. HEARD. (303 bis)

(3) J. CORNET. — [137], § 1.108.

La récente découverte faite lors du sondage de Ferrière-en-Bray par M. P. PRUVOST [497<sup>bis</sup>] dans le tréfonds paléozoïque de ce bassin de roches schisto-cristallines (micaschistes) est venue apporter un sérieux appui à cette dernière hypothèse qui permet d'admettre que les massifs cristallins dont proviennent les minéraux des sédiments détritiques houillers étaient beaucoup moins éloignés du bassin de dépôt que ne l'envisageait la première hypothèse de J. CORNET. Cette deuxième manière de voir est du reste plus conforme aux faits mis en évidence par MM. Ch. BARROIS et STAINIER qui indiquent clairement que ces massifs cristallins ne devaient pas se trouver à très grande distance de la rive de la lagune houillère.

7° — Les limites septentrionales du bassin de sédimentation houiller sont assez bien connues par le fait qu'elles coïncidaient avec le rivage d'une île ou d'une presqu'île dont l'existence a été reconnue par JULES GOSSELET, île ou presqu'île qui occupait l'emplacement du Brabant et des Flandres <sup>(1)</sup> et s'étendait au delà du Pays de Galles (St. George's Land).

L'on a montré depuis <sup>(2)</sup>, comme cela est visible sur la carte de la figure 89<sup>t</sup> empruntée au remarquable traité de M. MAURICE GIGNOUX [255], que cette presqu'île du Brabant représentait l'extrémité d'une aire anticlinale séparant le synclinal de Namur (Bassin houiller franco-belge) du synclinal, beaucoup plus vaste, compris entre la rive septentrionale de cette bande de terrains émergés et la côte du continent calédonien qui réunissait les boucliers scandinaves et canadiens.

C'est l'existence de cette zone émergée, relativement étroite, qui a déterminé les deux alignements de bassins houillers comprenant respectivement, d'une part, ceux du centre de l'Angleterre, du Limbourg hollandais et de la Campine (Belgique) et, d'autre part, ceux du Sud de l'Angleterre (Pays de Galles) et le Bassin houiller franco-belge ; ces deux alignements se continuant vers l'Est par le gisement de Westphalie (Fig. 89<sup>t</sup>).

Ces opinions, aujourd'hui classiques, nous conduisent à admettre qu'au Nord du bassin de sédimentation dont le synclinal de Namur représente les vestiges respectés par l'érosion, les aires continentales dépendant de ce bassin avaient des importances très limitées qui se trouvent en quelque sorte mesurées par la largeur relativement faible de l'île ou de la presqu'île du Brabant ; caractère qui semble indiquer que le relief de cette bande de terrain ne devait pas être très accentué <sup>(3)</sup>.

Ces caractères de la rive nord de la lagune houillère <sup>(4)</sup> expliquent pourquoi, comme l'ont montré MM. BARROIS et STAINIER, les éléments détritiques des roches stériles proviennent en majeure partie d'aires continentales situées au Sud du gisement. Comme nous le verrons bientôt, elles expliquent également pourquoi les circonstances favorables à l'établissement des forêts marécageuses houillères se sont surtout trouvées réalisées sur cette rive septentrionale où ont crû les végétaux dont les débris ont donné naissance aux trois grandes bandes septentrionales de charbon

(1) J. GOSSELET fut le premier à établir sur des bases géologiques l'existence du horst du Brabant lors de ses études sur les rivages dévoniens des Bassins de Namur et de Dinant. Son hypothèse du prolongement de cette île du Brabant sous la Flandre française a été confirmée depuis par les résultats de nombreux sondages.

(2) Consulter notamment : VAN WATERSCHOOT VAN DER CRACHT et W. J. JONGMANS [660], A. BRIQUET [118], MAURICE GIGNOUX [255], ÉMILE HAUG [303], II, p. 765, F. J. NORTH [457] et G. B. WALKER [664<sup>bis</sup>].

(3) L'on peut en effet admettre avec M. Ch. BARROIS [14] qu'à l'origine le massif siluro-cambrien du Brabant présentait des versants rocheux où ruisselaient les eaux pluviales et que les versants soumis à des phénomènes d'érosion active n'ont pas tardé à être démantelés et transformés en terres basses permettant l'installation d'un régime lacustre.

(4) Il est certain que cette rive septentrionale se trouvait placée au Nord des affleurements extrêmes actuels du terrain houiller car l'existence sous les terrains secondaires de la région d'Haubourdin de petites cuvettes houillères en font foi.

(Voir la carte de la Planche B) qui représentent la quasi totalité des richesses actuelles du gisement franco-belge.

8° — Les limites méridionales de ce même bassin de sédimentation sont beaucoup plus difficiles à déterminer, la bordure sud de la lagune houillère ayant été le lieu des phénomènes de plissements et de charriages qui ont marqué la phase paroxysmale du plissement hercynien, plisse-

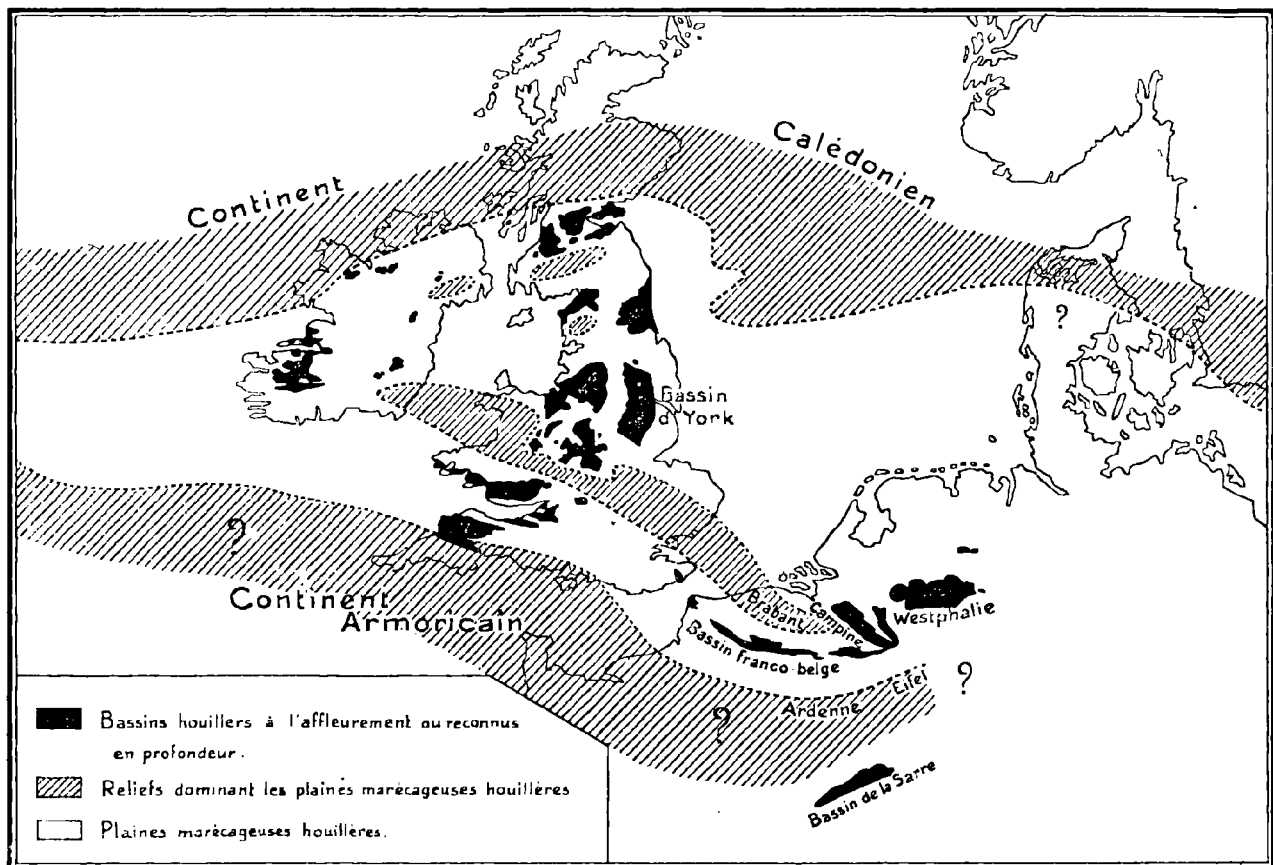


FIG. 89'. — Esquisse basée sur les travaux de GODWIN AUSTEN, J. GOSSELET, X. STAINIER et relessinée d'après les cartes des Bassins houillers du Nord-Ouest de l'Europe de VAN WATERSHOOT, M. CIGNOUX et G. B. WALKFR.

ments et charriages qui ont permis à l'érosion subséquente de provoquer la destruction de la majeure partie de cette bordure sud et vraisemblablement d'une fraction importante du complexe sédimentaire qui en dépendait directement.

Néanmoins, certaines observations précises permettent de déterminer approximativement la position de ce rivage et de fixer ses caractères.

Tout d'abord, les observations de M. Ch. BARROIS sur les galets exotiques de roches cristallines et de MM. L. CAYEUX et X. STAINIER sur la présence des feldspaths et des micas blancs dans les grès houillers conduisent à admettre que les massifs de roches intrusives ou de roches

métamorphiques, dont proviennent les éléments détritiques de beaucoup de roches houillères, n'étaient pas très éloignés du bassin de dépôt. Il est, en effet, vraisemblable que des galets de grande taille ne venaient pas de très loin<sup>(1)</sup> et c'est un fait connu que les cristaux et grains de feldspaths ne résistent pas à un transport très prolongé au cours duquel la combinaison d'actions mécaniques et d'actions chimiques les transforment rapidement en diverses variétés d'argile. Dans ces conditions, la zone d'érosion active, dont le relief devait être assez accusé, se trouvant elle-même assez proche du bassin de dépôt, *la rive sud de la lagune houillère ne pouvait être très éloignée du bord sud du gisement actuel* supposé ramené à sa position initiale antérieure aux phénomènes de charriage.

Quant aux caractères généraux de cette rive sud ils se trouvent clairement indiqués, soit par les observations précédentes, soit par celles que je rappellerai brièvement.

Si la majeure partie des strates houillères est formée par des sédiments fins (schistes, grès psammites) ou assez fins (grès à grain fin), il existe cependant parmi les roches houillères des types à gros grain (grès cuerelleux et cuerelles) et même des conglomérats dont les éléments n'ont pu être amenés dans le bassin de dépôt que par des cours d'eau rapides qui obligent à admettre *que les aires continentales du Sud possédaient un relief très accusé dans le voisinage même de la rive méridionale de la lagune carbonifère.*

Cette idée que la côte sud devait être en certains endroits très escarpée s'est trouvée vérifiée en un point précis du gisement grâce à une récente découverte faite dans le conglomérat de Roucourt attribué jusqu'ici au Permien et qui doit être classé désormais, d'après les observations de MM. Ch. BARROIS, P. BERTRAND et P. PRUVOST, [32 et 33] dans l'assise de Bruay. Les blocs plus ou moins arrondis trouvés dans ce conglomérat ont des dimensions telles<sup>(2)</sup> qu'il paraît probable que l'on se trouve en présence d'un cône de déjection d'un torrent dont les eaux étaient extrêmement rapides. La fréquence relative des conglomérats dans le Sud du gisement exploité indique que ce caractère était assez général<sup>(3)</sup>.

D'autre part, l'existence de zones à relief accentué dans le voisinage de la lagune houillère est également mise en évidence par certains caractères de la flore qui montrent qu'à côté des plantes de marécage qui ont concouru à la formation des couches de houille, l'on rencontre parfois des végétaux qui ont vécu dans des régions sèches et élevées. D'après JULES CORNET ([137], §. 1.108), les *Dicranophyllum* de Baudour et le *Mesoxylon* (tronc de gymnosperme) découvert par M. A. RÉNIER dans l'Assise de Châtelet seraient des témoins de la flore des hautes régions qui entouraient les bassins déprimés où se déposait la houille.

(1) A ce point de vue, je rappellerai ce fait signalé par M. CH. BARROIS que les gneiss supportent très mal les remaniements par les eaux et qu'ils se rencontrent très rarement à l'état de galets dans les vallées gneissiques et au pied des falaises littorales de la Bretagne. D'après FAYOL ces roches sont réduites en blocs de 20% par un parcours de 6 kilomètres et à l'état de grains fins à la suite d'un transport de 12 kilomètres. La présence fréquente des gneiss et des micaschistes parmi les galets houillers indique donc une origine assez rapprochée des aires de dépôt.

(2) Le plus gros des blocs de grès houillers de ce conglomérat exposé dans les galeries du Musée houiller de Lille pèse 2.500 kilogrammes.

(3) L'on peut en effet admettre que les poudingues rencontrés dans les concessions de Bruay, de Lens, de Nœux ne représentent que les vestiges respectés par l'érosion de sédiments grossiers qui se sont, en réalité, formés en plus grande quantité que ne le laisserait supposer leur rareté relative dans le gisement actuel. Lors du plissement hercynien, étant donnée leur position dans le bassin de sédimentation primitif, beaucoup d'entre eux ont pu être portés à des altitudes telles qu'ils ont été presque complètement enlevés par l'abrasion subséquente.

L'on doit donc admettre que pendant la majeure partie de l'époque houillère, à l'inverse de la rive nord basse et marécageuse particulièrement propice au développement des grandes forêts à caractères paludéens, *la rive sud escarpée* était constituée par des terres élevées ou existaient à côté des affleurements de roches houillères des massifs cristallins soumis en même temps aux phénomènes d'érosion. *Cette rive sud escarpée n'offrait que des conditions beaucoup moins favorables à la grande extension des forêts houillères* qui y ont présenté des développements beaucoup moindres que sur le rivage opposé. Ainsi s'explique le fait que j'ai signalé dans le chapitre XX<sup>e</sup> que les bandes septentrionales de houilles cellulosiques, de houilles ligneuses et de houilles de cutine sont réparties sur des espaces beaucoup plus considérables que les bandes méridionales correspondantes, comme le montre clairement la carte de la Planche B.

9<sup>o</sup> — Ces conclusions (origine méridionale des éléments détritiques minéraux du gisement franco-belge, origine septentrionale des débris végétaux) doivent être rapprochées de celles des belles études de SORBY [572<sup>bis</sup>] sur les roches stériles du Yorkshire. Cet auteur a, en effet, montré que des éléments clastiques de ces roches ont été amenés par des courants dirigés du Nord-Est vers le Sud-Ouest, car ils proviennent incontestablement de la destruction de roches granitiques voisines de celles qui existent en Scandinavie.

Dans la grande dépression située au Nord et au Nord-Est de l'île du Brabant (Fig. 89<sup>t</sup>), la sédimentation minéro-gène avait, tout au moins dans le Yorkshire, *une origine qui dans l'ensemble était septentrionale* et par conséquent exactement inverse de celle des éléments détritiques de la dépression franco-belge, *de sorte que l'île du Brabant n'a fourni dans les deux cas que peu d'éléments minéraux grossiers des roches stériles.*

Le mécanisme de la formation des stériles était donc du même type dans les deux cas et si l'on rapproche de ce fait qu'aussi bien dans le Yorkshire que dans le gisement franco-belge les forêts marécageuses d'où provenaient les débris végétaux se sont installées sur des terres basses dépendant de l'île du Brabant, l'on constate que *toutes les recherches citées concordent pour attribuer des positions exactement opposées aux origines d'alluvionnement minéro-gène, d'une part, et aux origines d'alluvionnement organogène, d'autre part, tout au moins en ce qui concerne les périodes de transgression* (Pl. D, Fig. 81<sup>t</sup>, a et b).

10<sup>o</sup> — Les deux rives de la lagune houillère se sont constamment déplacées dans le temps par les jeux combinés des phénomènes de sédimentation et de subsidence, fait mis en évidence par *la grande extension des sols de végétation fossiles* que l'on observe également dans les régions Nord et Sud du gisement. La répétition des faciès sur une même verticale indique que le plus souvent ces déplacements des deux rives opposées du bassin de dépôt respectaient dans son ensemble sa symétrie primitive. Néanmoins, il est évident que dans certains cas des modifications asymétriques ont pu provoquer des migrations dans une direction ou dans l'autre de l'axe du synclinal houiller, considération qui expliquerait, d'une part, *l'allure transgressive de certains conglomérats* par rapport à des sédiments moins grossiers et, d'autre part, certaines anomalies telles que la présence dans un faisceau de veines de couches de houilles plus riches en matières volatiles que les couches supérieures. Dans ce cas, cette anomalie qui constitue une exception à la loi de Hilt serait *dues à des changements déterminant des variations de répartition des accumulations végétales primordiales ou à des modifications dans les conditions de dépôt.*

Toutes les considérations précédentes, qui ne font qu'exprimer tous les faits qui ont été observés dans le Bassin houiller franco-belge, peuvent être résumées comme suit dans un bref aperçu qui indique d'une façon admise par tous les auteurs qui ont étudié cette question quelles étaient les conditions générales où se trouvait placée notre région au moment où s'accumulaient les sédiments houillers.

Le bassin de sédimentation dont le gisement franco-belge représente les parties respectées par l'érosion était du *type paralique* et occupait l'emplacement d'une plaine maritime ou mieux de terres basses inondées dont le niveau était très voisin de celui de la mer. La haute mer était alors située vers l'Est de l'Europe, là où les caractères marins dominent dans le Wetsphalien (Moscovien) qui forme le passage au faciès exclusivement marin que l'on observe en Asie centrale dans la partie méridionale de l'Europe et dans le Nord de l'Afrique.

Le fait que les invasions marines sont peu fréquentes en France, plus nombreuses en Belgique, et se multiplient au fur et à mesure que l'on se déplace vers l'Est semble indiquer que le synclinal de Namur présentait la topographie d'un golfe ou d'un détroit très large occupé par des régions marécageuses ou saumâtres envahies assez rarement par la mer. Ce détroit était limité vers le Nord par la côte basse et marécageuse de l'île du Brabant particulièrement propice à l'établissement des grandes forêts palustres et vers le Sud par la côte plus escarpée d'une aire continentale à relief plus accusé qui, comme l'a montré M. Ch. BARROIS, a fourni la majeure partie des matériaux détritiques des sédiments stériles. Les rivages abrupts de ces aires continentales du Sud, dont dépendaient des massifs cristallins, ont permis l'accumulation de conglomérats dont la plupart ont été détruits au cours de la période d'érosion. Moins favorables à l'établissement de régions basses et marécageuses, propices au développement des végétaux houillers, ces rivages du Sud n'ont vus développer que les forêts moins importantes et moins étendues qui ont donné naissance aux débris végétaux que l'on retrouve dans les bandes de houille, également réduites, de la région sud du gisement actuel.

Comme le montre la Fig. 89<sup>t</sup>, ce détroit resserré vers l'Est et s'élargissant vers l'Ouest communiquait à ses deux extrémités avec la dépression beaucoup plus large comprise entre l'île du Brabant et le continent Calédonien <sup>(1)</sup> formé par la jonction du continent Nord Atlantique et du bouclier scandinave, dépression où se sont accumulées les formations houillères dont les gisements actuels du Nord de l'Irlande, du centre de l'Angleterre, du Limbourg hollandais, de la Campine belge et de la Westphalie représentent les vestiges respectés par l'érosion.

Quant à la nature du synclinal de Namur, dont les dimensions dans le sens de la largeur sont relativement restreintes, le fait qu'il s'y est accumulé dans la région française plus de 2.000 mètres de sédiments ne permet pas de douter qu'il s'agissait bien d'une « *aire de subsidence* » ayant à ce point de vue, comme l'a fait remarquer M. P. PRUVOST [498], les caractères d'un « *géosynclinal* » à cela près qu'il ne s'y déposait que des sédiments littoraux ou semi-continentaux, les conditions bathyales ne s'y étant jamais réalisées.

En dernière analyse, il ressort de tout ce qui précède que les deux rives de la lagune houillère qui occupaient l'emplacement du synclinal de Namur représentaient deux origines d'alluvionnements mixtes et permettaient toutes deux l'apport dans le bassin de sédimentation d'éléments

(1) C'est ce continent auquel on applique parfois le nom d'*Archæia*.

minéraux et de débris organiques. Ces deux rives différaient, néanmoins, l'une de l'autre en ce sens que pendant presque toute l'époque houillère la rive nord basse et déprimée a fourni surtout d'abondants débris végétaux, tandis que la rive sud plus escarpée permettait l'apport d'éléments clastiques minéraux ; apport coïncidant avec une sédimentation organique moins intense.

## II

### Les causes initiales

#### Différenciation primordiale des dépôts primitifs

Cette différenciation primordiale des accumulations végétales primitives est mise en évidence par l'ensemble des faits d'observation que nous révèlent les examens microscopiques et macroscopiques des houilles (Livre premier) et l'étude de la distribution des divers types pétrographiques de charbon dans le bassin du Nord et du Pas-de-Calais (Chapitre XX<sup>e</sup>). Cette thèse trouve sa vérification dans les recherches qui ont été faites sur les roches stériles qui montrent que le classement des débris organisés qui caractérisent les divers types d'accumulations végétales s'observe encore dans les schistes et parfois dans les grès. Elle se trouve encore confirmée par le fait que tous les charbons paléozoïques étudiés à ce jour dans le Nord de la France sont de toute évidence des sédiments transportés.

Je ne reviendrai pas ici sur le mécanisme du mode de formation des divers types de roches combustibles qui a été étudié dans le chapitre XXIV<sup>e</sup>, mon intention étant simplement, après avoir rappelé que *c'est principalement au classement mécanique des débris végétaux que les grands types de houille doivent leur existence*, de comparer cette théorie à celle précédemment proposée et de signaler certains faits d'observation étrangers aux couches de houilles elles-mêmes qui viennent confirmer ma manière de voir.

Le fait que la structure microscopique des houilles conduit naturellement à envisager la possibilité d'une diversité des accumulations initiales est bien connu depuis longtemps puisqu'il se trouve à la base de la controverse célèbre qui divisait déjà en 1870-71 DAWSON et HUXLEY au sujet du rôle joué par les spores dans la genèse des veines de charbon <sup>(1)</sup>. Cette notion de la diversité des dépôts primordiaux s'est imposée de plus en plus au fur et à mesure que s'accroissait la somme de nos connaissances sur la structure microscopique des houilles et a naturellement suscité une explication compatible avec la théorie de l'autochtonie (formation sur place) à peu près généralement admise antérieurement aux présentes recherches.

L'opinion que la différenciation des dépôts primordiaux pouvait être attribuée à des variations de composition des substances initiales n'a été que très rarement soutenue <sup>(2)</sup>. La plupart des auteurs qui se sont occupés de la question ont, en effet, attribué cette différenciation presque

(1) Voir à ce sujet : CHAPITRE I<sup>er</sup>, p. 4.

(2) Notamment par M. CH. BARROIS [24], STRAHAN, POLLARD et RADLEY [622], E. A. N. ARBER [3].



exclusivement à des variations dans les conditions de dépôts, variations déterminant des processus chimiques d'évolution différant eux-mêmes les uns des autres.

C'est cette théorie qui se confond, en réalité, avec la théorie de la différenciation des charbons par évolution *diagénétique précoce* des accumulations végétales qui a été admise récemment par M. D. WHITE ([672], p. 368) lorsqu'il a émis l'hypothèse que *la concentration en résines, cires, exines et cuticules résulte de la disparition des éléments moins résistants qui les entouraient et qui originellement constituaient la majeure partie de la masse*. C'est également cette théorie émise sous une forme un peu atténuée qu'admettait implicitement M. M. LEGRAYE lorsqu'il a écrit ([398<sup>bis</sup>], p. 5, col. 2) au sujet de la distinction des houilles de cutine et des houilles ligno-cellulosiques : « *Je ne puis y voir que des types de charbons résultant de variations locales de dépôt ou d'altération, mais pas l'origine de teneurs en matières volatiles aussi différentes que celles qui séparent les houilles anthraciteuses des houilles grasses* ».

Dans le Nord de la France cette théorie est insuffisante, car elle n'explique pas l'absence de spores et de cuticules dans les charbons ligno-cellulosiques, la rareté des débris ligneux dans les charbons de cutine et l'absence complète dans le gisement des houilles à la fois très riches en débris ligno-cellulosiques et en spores que M. WHITE considère comme représentant le type initial normal. Ce dernier type hypothétique n'existe pas chez nous où les houilles mixtes qui s'en rapprochent le plus (Pl. VII, Fig. 30) ne contiennent que de rares microspores et des macrospores altérées, observations qui conduiraient à admettre dans les conditions générales d'application de la théorie de WHITE que les évolutions chimiques se poursuivaient exactement de façon inverse que ne l'envisageait cet auteur <sup>(1)</sup>.

La théorie que j'ai proposée d'un classement mécanique des débris végétaux analogue à celui des éléments de toutes les autres roches sédimentaires ne fait qu'exprimer ce qui est mis en évidence par l'observation microscopique et rend bien compte de la formation des divers types de houilles. Cette théorie a, en outre, l'avantage d'être entièrement d'accord avec tout ce que l'on connaît des formations houillères d'après des observations faites dans les roches autres que les couches de houille.

<sup>10</sup> — Il est curieux de signaler qu'alors que la notion du classement mécanique des débris végétaux, mis en évidence aujourd'hui par des faits d'observation précis <sup>(2)</sup>, est difficilement admise en ce qui concerne les houilles proprement dites par la plupart des chercheurs qui se sont occupés de la question, celle du classement mécanique de ces mêmes débris végétaux dans les autres roches houillères n'est mise en doute par personne et est même acceptée par les dits chercheurs.

C'est un fait bien connu depuis longtemps qu'il existe dans tous les terrains houillers des schistes charbonneux et des schistes bitumineux qui sont respectivement caractérisés par des débris ligno-cellulosiques (tiges, pétioles, rachis, feuilles entières, fragments de bois généralement gélifiés) et par l'abondance des exines de spores et des cuticules (parties cutinisées des plantes houillères). Dans ces schistes le classement mécanique de ces deux sortes de débris végétaux n'a jamais

(1) Dans ce cas, en effet, il faudrait admettre que les agents de l'évolution auraient respecté les substances les plus altérables de WHITE (s. ligno-cellulosiques) en entraînant la destruction totale ou partielle des corps les plus résistants de ce même auteur (exines de spores et cuticules).

(2) Voir notamment à ce sujet la plupart des 330 microphotographies des 66 planches de ce volume. Consulter aussi celles que j'ai publiées antérieurement dans certains des mémoires figurant dans la liste bibliographique de ce travail sous les numéros [180] à [213<sup>ter</sup>].

été mis en doute par personne et a toujours été attribué aux mêmes actions qui ont déterminé le triage des éléments clastiques.

Ce même classement mécanique des deux grands types de débris végétaux d'origine terrigène est à peu près universellement admis en ce qui concerne les deux variétés fréquentes de *Gayets* si souvent associées à nos veines de houille. Dans ces roches que les partisans les plus convaincus de la théorie de la formation sur place considèrent comme des *sédiments éoliens*, dont les débris organisés ont été par conséquent transportés par les vents, toutes les recherches sérieuses ont montré que ces débris sont constitués, d'une part, par des menus *débris ligno-cellulosiques* dans les *Pseudo-Cannel-Coals* alors que, d'autre part, ils sont presque uniquement représentés par des *spores* dans les *Cannel-Coals* proprement dits <sup>(1)</sup>.

Or, il n'est pas inutile de le rappeler ici, les *Cannel-Coals* à teneurs élevées en matières volatiles ne se trouvent associés qu'aux *houilles de cutine* (h. bitumineuses, M. V. > 26 %) alors que les *Pseudo-Cannel-Coals* beaucoup plus pauvres en matières volatiles (parfois moins de 10 %) ne se rencontrent que dans les voisinages des points où les veines sont à l'état de *houilles ligno-cellulosiques* (h. à coke, 26 % > M. V. > 18 % ; h. anthraciteuses M. V. < 18 %).

Si l'on ajoute à cela que toutes les roches dont il vient d'être question forment fréquemment des intercalations dans les veines de houille et que les schistes bitumineux et les *cannel-coals*, d'une part, ne se rencontrent que là où les veines sont à l'état de houille de cutine tandis que, d'autre part, les schistes charbonneux et les *Pseudo-Cannel-Coals* ne sont interstratifiés que dans les houilles ligno-cellulosiques, l'on arrive forcément à cette conclusion *qu'il existait bien à l'époque houillère deux types de dépôts nettement distincts les uns des autres par la nature de leurs débris végétaux dominants et leur composition chimique initiale.*

En effet, il n'y a aucune raison plausible de nier le classement rigoureux des deux types de débris végétaux si nombreux dans les houilles alors que l'on admet ce même classement en ce qui concerne les débris identiques moins nombreux des *gayets* et des schistes. Quant au point de vue pétrographique, il ne nous est donc pas permis d'admettre que dans la série houillère le classement des débris végétaux des houilles, qui est rigoureusement identique à celui de ces mêmes débris dans les autres roches, procède de phénomènes différents dans des sédiments qui sont fréquemment interstratifiés et passent latéralement les uns aux autres.

En dernière analyse, l'étude des *caractères paléontologiques* des houilles, des combustibles spéciaux et des roches mixtes ou stériles *montre que le classement mécanique des débris organisés* générateur des divers types de dépôts initiaux, dont j'ai signalé l'existence, se produisait dans toute l'étendue de la lagune houillère là où se déposaient des alluvions organiques mixtes ou presque essentiellement minérales.

*Ce classement n'est donc pas un phénomène particulier aux houilles, mais un phénomène très général qui s'observe dans toutes les roches houillères contenant des débris végétaux.*

2° — La notion que les houilles de cutine (Charbons de spores et de cuticules) sont des formations d'eaux plus profondes que les houilles ligno-cellulosiques (charbons ligneux et charbons cellulosiques) conduit naturellement à admettre que la bande médiane qu'occupent les premières

(1) L'absence et l'extrême rareté des spores dans les *Pseudo-Cannel-Coals* avaient été observées par C. E. G. BERTRAND. Tout récemment M. X. STAINIER a insisté sur l'absence des spores dans le *Pseudo-Cannel-Coal* de la Veine anglaise du Bassin de Charleroi [600].

dans le gisement actuel *représente ce qui subsiste des régions les plus profondes du bassin de sédimentation primitif*, ces régions étant figurées en noir sur la carte de la Planche B.

Or, cette manière de voir trouve sa vérification dans le mode de répartition, dans le gisement, des variétés de gayets à hautes teneurs en matières volatiles que l'on désigne par les noms de Cannel-Coals et de Bogheads.

Ces Cannel-Coals et ces Bogheads sont des roches combustibles que les autochtonistes les plus convaincus considèrent comme des *sédiments d'eaux profondes* <sup>(1)</sup> où, comme nous l'avons vu précédemment, tendent à dominer les éléments planctiques, nectiques et benthiques qui attestent *une diminution correspondante des rôles joués dans la formation des accumulations végétales par les débris végétaux d'origine terrigène*. Cette diminution déjà appréciable dans les Cannel-Coals est très accentuée dans les Bogheads dont certains sont formés presque uniquement par des éléments d'un plancton particulier (algues gélosiques).

Or, tous les gayets riches en matières volatiles qui sont le plus souvent des Cannel-Coals et plus rarement des Bogheads *n'ont été rencontrés en France que dans la bande des charbons de cutine* où ils sont du reste relativement nombreux <sup>(2)</sup>.

Les Pseudo-Cannel-Coals ou Gayets à débris de tissus ligneux ne s'observent, eux, que dans les bandes de houilles ligneuses ou cellulosiques situées plus au Nord et occupent, par conséquent, dans le gisement des positions plus septentrionales. A leur sujet, il n'est pas inutile de rappeler que leur rareté relative par rapport à la fréquence des autres types de gayets indique clairement que ces faciès d'eaux plus profondes des accumulations ligno-cellulosiques ne trouvaient qu'exceptionnellement les conditions favorables à leur dépôt <sup>(3)</sup>.

En dernière analyse, la localisation et la fréquence relative des gayets riches en matières volatiles (Cannel-Coals et Bogheads) dans la bande de houille de cutine occupant la partie médiane du gisement actuel *nous montre que cette bande correspond bien aux zones les plus profondes du bassin de sédimentation primitif*.

3<sup>o</sup> — Si l'on accepte la théorie de la formation de la houille par alluvionnement telle que je l'ai exposée précédemment (Chapitre XXIV<sup>e</sup>), il est évident que dans la bande de sédiment dépendant de la rive nord de la lagune houillère (représentée sur la figure schématique 80<sup>t</sup> de la planche C) la sédimentation végétale terrigène *doit croître* à partir d'un point situé à droite de  $b_1$  *pour décroître* ensuite à partir d'une région située entre  $b_2$  et  $b_3$ , mais assez proche du point  $b_3$  puisque les éléments terrigènes sont encore fréquents dans les Cannel-Coals qui se déposaient entre  $b_3$  et  $b_4$ .

Il s'ensuit, dans ces conditions, que dans la région nord du gisement l'on doit rencontrer d'abord des houilles cendreuses riches en particules d'argile (houilles schisteuses des mineurs) puis des couches de houille d'abord minces, dont l'épaisseur croît progressivement vers le Sud du complexe sédimentaire en question pour passer ensuite à des couches de Cannel-Coals.

Or, les observations faites par de nombreux chercheurs montrent *que l'étude des caractères*

(1) Voir : A. RENIER [533].

(2) Notamment, dans les faisceaux très gras exploités dans les concessions de Bruay et de Liévin pour ne citer que les régions où ils ont été le plus souvent signalés.

(3) Il semble que souvent ces Pseudo-Cannel-Coals sont remplacés par des houilles cendreuses et des schistes charbonneux.

*des veines de houille dans toute cette partie du gisement conduit exactement aux mêmes conclusions que permet le raisonnement théorique précédent.*

Tout d'abord, c'est un fait bien connu depuis longtemps que dans l'ensemble du gisement la puissance des veines de houille est loin d'être constante. D'après M. METTRIER [449] l'on peut admettre qu'en règle générale *les couches de houille sont plus épaisses dans la région sud du gisement* <sup>(1)</sup> *et s'amincissent vers le Nord*, caractère qui explique pourquoi, malgré une extension géographique bien plus restreinte, la bande médiane des charbons de cutine du Pas-de-Calais (Carte de la Planche B) constitue grâce à ses couches de houille épaisses et régulières l'une des principales richesses du gisement. Or, d'après M. Ch. BARROIS [23] l'amincissement des veines de houille doit être considéré comme indiquant le passage à des zones plus littorales.

Dans ces conditions, *l'existence de veines relativement épaisses* (1 m. en moyenne et assez rarement 1 m. 50 et 2 m.) dans le Sud des zones exploitées *et de veines plus minces* (fréquemment moins de 0 m. 50) dans la partie nord du gisement indique clairement que les choses se sont bien passées comme je l'ai envisagé précédemment ; les débris végétaux ayant été fournis par des forêts qui ont occupé la rive nord de la lagune et les houilles cellulosiques, les houilles ligneuses et les houilles de cutine représentant dans cette région nord du Bassin houiller des faciès de plus en plus profonds.

Il est également démontré que les veines de houille passent vers le Nord à des roches riches en cendres qui sont parfois de véritables schistes. L'on sait depuis longtemps que dans la région septentrionale du gisement *les veines plus minces sont loin de présenter la régularité des couches de charbon du Sud*, caractère qui s'explique par le fait que ces veines passent latéralement à des combustibles très cendreux que les mineurs désignent sous le nom de *houilles schisteuses* <sup>(2)</sup>, combustibles cendreux qui passent eux-mêmes à des schistes charbonneux.

Ces faits s'expliquent très simplement si l'on admet, comme je l'ai fait antérieurement, *que les schistes charbonneux passent aux houilles ligno-cellulosiques* (Fig. 80<sup>t</sup>, Planche C) *là où n'arrivaient plus les particules minérales les plus ténues.*

Enfin, l'on sait également que dans la partie sud des régions exploitées du gisement *les veines de houilles contiennent fréquemment des sillons de gayets et se continuent en certains points par de minces passées de ces mêmes charbons spéciaux* qui sont presque toujours des Cannel-Coals et plus rarement des Bogheads, caractères qui montrent que le passage progressif des houilles aux gayets s'est bien produit comme l'indique la figure schématique 80<sup>t</sup> (Pl. C).

En résumé, l'existence des divers types de dépôts initiaux mise en évidence par les examens microscopiques des différents types lithologiques de houille se trouve encore confirmée par tous les faits observés dans le bassin houiller du Nord de la France en dehors des couches de houille elles-mêmes. Cette concordance entre les résultats qui ont été acquis dans des recherches

(1) Il s'agit ici de la région sud exploitée qui correspond approximativement à la zone centrale du bassin de sédimentation primitif tel que je l'ai envisagé.

(2) Il me paraît préférable de réserver ce terme aux houilles présentant un *défilé schisteux* et de lui substituer celui de *houille cendreuse* lorsqu'il est employé dans le sens que lui attribuent les mineurs.

entreprises séparément, intéressant des domaines très variés et employant des méthodes d'investigation très différentes, permet de conclure *que ce sont bien les variations dans la nature des débris végétaux qui ont concouru à la formation des accumulations végétales initiales qui sont devenues les points de départ des grands types lithologiques et chimiques de houilles dont il a été question précédemment* (Chapitres XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup>).

### III

#### Les agents de l'évolution des accumulations végétales Nature des actions diagénétiques précoces

Nous venons de voir comment le classement mécanique, au cours de phénomènes de transport, avait déterminé la genèse de différents types de houille caractérisés en même temps par la nature des débris végétaux qui y dominent et par leurs propriétés chimiques et techniques. Je me propose de rechercher ici quelle a été l'importance et la nature des phénomènes de diagénèse précoces qui, comme nous l'avons vu précédemment, ont également concouru à la différenciation des diverses variétés de combustibles que l'on rencontre dans chacun de ces types principaux.

##### 1<sup>o</sup> — Importance des phénomènes précoces d'amaigrissement des dépôts initiaux.

Les phénomènes de diagénèse précoce des divers types d'accumulations végétales n'ont pu consister qu'en un *amaigrissement* des dits dépôts, c'est-à-dire en un départ de matières volatiles correspondant à un enrichissement en carbone.

L'importance de ces phénomènes d'amaigrissement peut être déterminée de façon exacte grâce aux données précises que nous fournit l'examen microscopique des houilles.

L'étude microscopique montre, en effet <sup>(1)</sup>, que dans le Nord de la France :

a) Toutes les *houilles bitumineuses* (M. V. > 26%) sont représentées par des *charbons de cutine* où dominent nettement les « charbons de spores », les « charbons de cuticules » étant relativement plus rares. Or, les teneurs en matières volatiles de ces houilles bitumineuses oscillent entre des valeurs maxima qui peuvent dépasser 45% et des valeurs minima qui sont voisines de 26 %/0. L'examen microscopique montre, comme le prouvent les 18 premières planches de cet ouvrage, *que des houilles de cutine à 45 %/0 de matières volatiles peuvent être rigoureusement identiques*, quant à leurs caractères lithologiques, à *d'autres houilles de cutine ne renfermant que 26 %/0 de matières volatiles*.

Dans ce cas, des phénomènes d'amaigrissement qui sont au moins de l'ordre de 19 %/0 <sup>(2)</sup> ont donc pu se produire sans entraîner de changements appréciables dans les états de fossilisation

(1) Voir les 330 figures des 66 planches phototypiques de ce mémoire.

(2) L'amaigrissement réel est certainement supérieur à 19% car les houilles à 45 % de M. V. elles-mêmes ont dû subir une perte appréciable de matières volatiles. Le fait que certaines houilles de cutine contiennent 49 % de M. V. ne permet guère d'en douter.

des spores, des cuticules et des corps résineux et sans que l'on puisse trouver de différences importantes entre les quantités respectives de débris organisés (spores, cuticules) et de ciment amorphe en présence.

Normalement, l'amaigrissement des accumulations de spores et de cuticules n'a pas dépassé de beaucoup le stade correspondant aux *houilles grasses marécales* (32 % > M. V. > 26%) qui représente en quelque sorte les variétés de combustibles les plus maigres qui dérivent dans les conditions ordinaires des dépôts initiaux en question. Cependant, dans certaines circonstances les accumulations de spores et de cuticules ont pu subir des amaigrissements plus accentués. Tel est le cas par exemple de la houille maigre du Puits N° 2 bis de Bruay représentée par la Fig. 50 (Pl. X), houille maigre qui, détail intéressant à noter, présente un aspect très voisin de celui de la houille très grasse de Crespin qui lui fait vis-à-vis (Fig. 49, Pl. X).

Dans le cas de la houille maigre de Bruay, un amaigrissement d'un ordre supérieur à 30 % a donc affecté une accumulation de spores tout en aboutissant à la genèse d'une houille maigre ayant conservé les caractères lithologiques d'une houille de cutine.

b) Les houilles à coke (26% > M. V. > 18%) présentent presque toujours les caractères lithologiques des houilles ligneuses représentées par la Fig. 224 (Pl. XLVI) et plus rarement ceux du type de ces mêmes houilles ligneuses figurées par la microphotographie 225 de cette même planche. Les caractères pétrographiques persistent normalement dans toute une série de variétés de houilles à coke où les taux d'amaigrissement peuvent différer entre eux de 8%.

Dans certains cas cependant, l'amaigrissement des accumulations riches en débris ligneux a pu être beaucoup plus considérable comme dans celui des anthracites et des houilles anthraciteuses de Mariemont-Bascoup <sup>(1)</sup> où en prenant comme point de départ une valeur de 26%, qui représente déjà un stade d'amaigrissement <sup>(2)</sup>, la perte totale de matières volatiles atteint une valeur dépassant 18% tout en aboutissant à la genèse d'anthracite (M. V. = 7,28%, Tableau XXXVI, p. 368) dont les caractères paléontologiques et lithologiques sont identiques à ceux de certaines houilles à coke à 26% de matières volatiles.

Dans le cas des dépôts ligneux l'amaigrissement varie normalement de 8 unités pour cent, mais peut atteindre et même dépasser 18%.

c) Les houilles anthraciteuses, terme qui dans la nomenclature que j'ai adoptée comprend l'ensemble de tous les combustibles maigres des houilles maigres aux anthracites (M. V. < 18%), dérivent surtout dans notre gisement <sup>(3)</sup> de dépôts particuliers qui ont donné naissance aux houilles cellulosiques où domine nettement le ciment amorphe qui dans leur cas provient surtout des substances cellulosiques des plantes houillères. Les anthracites proprement dits (M. V. < 8%) n'étant pas lithologiquement différents des houilles maigres à 18% de M. V., il est évident que les accumulations qui ont donné naissance aux variétés de combustibles maigres subissaient normalement des amaigrissements dont les importances pouvaient varier entre 18% et 5% au minimum, soit un écart maximum de 13% environ.

(1) Voir : A. DUPARQUE et S. DEFRETIN-LEFRANC, [213 bis]. A. DUPARQUE et J. W. LAVERDIÈRE, [212 bis].

(2) Ce fait est mis en évidence par l'existence exceptionnelle chez nous de houilles ligneuses contenant 27 et même 28 % de matières volatiles.

(3) Les exceptions à cette règle sont précisément représentées par les cas d'amaigrissements anormaux des autres types d'accumulations végétales dont il a été question plus haut.

En résumé, les phénomènes d'amaigrissement des divers types de dépôts initiaux du gisement du Nord de la France ont pu présenter des importances très variables suivant qu'ils se sont produits dans des *circonstances normales* ou dans des *conditions anormales* qui ne se trouvaient réalisées que beaucoup plus rarement.

$\alpha$ . — Dans les *conditions normales* les importances des phénomènes d'amaigrissement sont respectivement des ordres de 19% (accumulations riches en cutine), de 8% (acc. riches en lignine) et de 13% (acc. riches en cellulose) pour les trois grands types de dépôts initiaux.

$\beta$ . — Dans les *conditions anormales* les phénomènes d'amaigrissement beaucoup plus intenses, rendus possibles par des circonstances particulières, ont pu atteindre 30% et même plus dans le cas des accumulations riches en cutine et dépasser 18% dans celui des accumulations riches en lignine.

## 2° — Nature des phénomènes d'amaigrissement.

Ces phénomènes que l'on réalise expérimentalement, tout au moins dans leurs grandes lignes, dans la fabrication du coke et des anthracites artificiels *consistent en une perte en gaz et en un enrichissement en carbone*.

Dans la théorie diagénétique que j'ai acceptée comme cause d'évolution secondaire précoce des accumulations végétales appartenant à trois types initialement différents, l'on attribue les caractères progressifs des diverses transformations subies par les dépôts organiques à *des oxydations inégales* résultant *des variations d'épaisseur des lames d'eau* recouvrant dans chaque cas les débris en question.

Il est certain que sous ce vocable d'oxydations inégales, l'on englobe sous un terme très simple des phénomènes en réalité très complexes qui pouvaient très bien consister en actions microbiennes ou diastasiques déterminées par le degré d'aération du milieu où s'accumulaient les débris végétaux ; degré qui se trouvait lui-même influencé par différents facteurs tels que la profondeur d'eau ou l'état d'agitation de cette dernière. Quoi qu'il en soit, cette réserve étant faite, il semble que la somme de ces actions complexes puisse être considérée comme représentant bien des phénomènes d'oxydation ménagée, cette manière de voir étant confirmée par la synthèse artificielle du seul constituant macroscopique bien caractérisé des houilles paléozoïques.

Il ne peut être question d'invoquer ici les phénomènes de cokéfaction ou de fabrication des semi-cokes ou des anthracites artificiels, car les beaux résultats obtenus dans ce domaine par les techniciens reposent presque uniquement sur des recherches empiriques qui tout en permettant d'obtenir pleine satisfaction en ce qui concerne les résultats envisagés ne nous donnent que très peu d'indications précises sur le développement et la marche des réactions essentielles. D'autre part, les cokes, les semi-cokes et les anthracites artificiels sont de toute évidence des substances complexes trop différentes à bien des points de vue des combustibles maigres naturels pour qu'il puisse être question de les comparer à ces derniers.

Par contre, depuis des siècles, et probablement même bien longtemps avant l'utilisation généralisée des houilles, l'homme avait réussi d'une façon quasi parfaite la synthèse de ce consti-

tuant des différentes sortes de houille que l'on désigne universellement sous le nom de *Fusain* et qui est, comme nous l'avons vu, *un véritable anthracite d'origine ligneuse*. (Chapitre XV<sup>e</sup>, p. 296). Cette synthèse se trouve réalisée industriellement dans la fabrication du *charbon de bois artificiel* par combustion incomplète du bois (procédés des meules) ou par distillation de cette même substance végétale.

De l'avis de tous ceux qui ont comparé le *charbon de bois naturel* qu'est le *Fusain* et le *charbon de bois artificiel*, il n'existe aucune différence importante entre ces deux variétés de combustibles qui peuvent être considérées *comme étant chimiquement et physiquement identiques*. Ces corps qui ont des structures microscopiques semblables <sup>(1)</sup> ont des pouvoirs absorbants de même ordre et des compositions chimiques élémentaires très voisines.

Il est donc démontré que le *Fusain* formé uniquement au dépens de la lignine des plantes houillères est identique à tous points de vue au *charbon de bois artificiel* obtenu à partir de la lignine des plantes actuelles, de sorte que sans préjuger en rien de la nature, de l'allure et de la durée des réactions qui ont présidé à la genèse du *Fusain*, l'on doit admettre que tout en différant de celles qui se développent dans la fabrication du *charbon de bois* elles ont abouti exactement au même résultat final.

Or, dans le procédé des meules, le *charbon de bois artificiel* est obtenu par la *combustion incomplète* de bûches serrées les unes contre les autres et recouvertes de feuilles, de mousses, de gazon et de terre constituant un feutrage capable d'empêcher tout accès de l'air atmosphérique sauf par quelques ouvertures ménagées à cet effet. L'ensemble des phénomènes est considéré comme une *oxydation ménagée* mettant en liberté de l'anhydride carbonique (CO<sup>2</sup>) et des carbures hydrogénés.

Ces réactions qui président à la genèse d'un anthracite artificiel à partir d'une substance végétale et représentent, par conséquent, des phénomènes d'amaigrissement accentué sont, fait intéressant à noter, *du même genre que celles que l'on invoque dans la théorie diagénétique pour expliquer l'évolution des combustibles*, puisque dans les deux cas il y a *oxydation ménagée, mise en liberté des mêmes gaz et enrichissement en carbone*.

Dans ces conditions, la théorie diagénétique qui fait intervenir comme agents de la différenciation des accumulations végétales des oxydations ménagées, d'importances variables déterminées par la réalisation de milieux plus ou moins aérés en rapport avec l'épaisseur de la lame d'eau qui recouvrait dans chaque cas les dépôts organiques, *se trouve vérifiée dans le domaine expérimental* ; circonstance qui permet de la considérer comme vraisemblable.

L'amaigrissement progressif des dépôts organiques générateurs des différents types pétrographiques de houilles *est donc bien dans son ensemble un phénomène d'oxydation ménagée d'importance variable* qui présidait à la genèse des diverses variétés que l'on observe dans chacun de ces types.

Pratiquement, cette oxydation ménagée était un phénomène très complexe dû à l'action directe ou indirecte (actions diastasiques) de microbes analogues à ceux qui ont été décrits par B. RENAULT [525 à 528] dans d'autres roches combustibles.

(1) Les structures ligneuses observées dans le *Fusain* et dans le *charbon de bois artificiel* sont naturellement en rapport avec les caractères des bois initiaux.



## Conclusions du chapitre vingt-huitième

Des faits d'observation exposés précédemment et mis en évidence par des recherches concernant le terrain houiller, effectuées dans des domaines très différents, l'on peut tirer les conclusions suivantes :

1<sup>o</sup> — Le *bassin de sédimentation primitif*, dont le gisement actuel ne représente que les vestiges respectés par l'érosion, *avait à l'origine une structure d'ensemble symétrique* en ce sens que les forêts marécageuses ont pu croître sur ses deux rives septentrionale et méridionale et donner naissance simultanément, grâce au transport et au classement des débris végétaux, aux deux systèmes de bandes de houille figurés sur la carte de la planche B où l'on voit que les deux bandes Nord et Sud de houille de cutine sont étroitement juxtaposées.

2<sup>o</sup> — La *côte septentrionale* à relief assez faible était beaucoup plus favorable au développement des forêts marécageuses que la côte méridionale, caractère qui explique pourquoi la plupart des veines de houille exploitées dépendent du complexe de roches se rattachant à la dite rive septentrionale, *les couches de houille dont les débris végétaux provenaient de la direction du Nord s'étant déposées de façon discontinue sur la majeure partie de la superficie du gisement actuel.*

3<sup>o</sup> — La *côte méridionale* à relief plus accusé, dont dépendaient des aires continentales où affleuraient des massifs cristallins, a joué un rôle moins important dans la sédimentation végétale génératrice des veines de houille, mais a donné naissance, comme l'ont montré MM. CH. BARROIS et X. STAINIER, *à la majeure partie des éléments des roches stériles du terrain houiller.*

4<sup>o</sup> — *Un classement mécanique par transport*, analogue à celui qui s'opère dans le calibrage des éléments de toutes les autres roches sédimentaires, a provoqué la genèse d'accumulations végétales disposées en bandes discontinues grossièrement parallèles aux côtes et différant les unes des autres *par la nature des débris organisés et par leur composition chimique* ; bandes qui sont devenues les points de départ des grands types lithologiques et chimiques de houille.

5<sup>o</sup> — Chaque type d'accumulation végétale s'est trouvé placé dans des conditions de dépôt variables qui ont déterminé des évolutions diagénétiques précoces revêtant les caractères d'oxydation ménagée se réalisant dans les circonstances envisagées par MARCEL BERTRAND et MM. STEVENSON, STAINIER et GÉNY.

Dans les conditions qui se réalisaient *normalement*, ces actions diagénétiques ont permis la différenciation à partir de chacun des grands types chimique et lithologique de houille *des variétés distinguées par GRUNER* et par tous les techniciens.

Dans des conditions anormales des *actions diagénétiques plus intenses* ont pu provoquer la formation d'*anthracite* à partir d'accumulations végétales dont les termes d'amaigrissement maxima sont ordinairement représentés par les houilles grasses marécales et les houilles à coke dont la teneur en matières volatiles se rapproche de 18%.

## CHAPITRE VINGT-NEUVIÈME

## La différenciation des houilles

### Son mécanisme dans le Nord de la France

## SOMMAIRE

- I. — LOCALISATION DANS LE BASSIN DES ZONES DE HOUILLE LIGNO-CELLULOSIQUE, DE HOUILLE DE CUTINE ET DE CHARBONS D'ALGUES. Genèse d'accumulations primordiales à caractères paléontologiques différents.
  - II. — FORMATION DES DIFFÉRENTES VARIÉTÉS OBSERVÉES DANS CHAQUE GRAND TYPE LITHOLOGIQUE DE HOUILLE. Rôle de la diagénèse précoce des sédiments végétaux dans la genèse de ces variétés.
  - III. — LA QUESTION DES HOUILLES MIXTES. — Explication de leur rareté, de l'absence des spores et des cuticules dans les houilles ligno-cellulosiques et de l'altération des tissus ligneux des houilles de cutine.
  - IV. — FORMATION DES BOGHEADS OU CHARBONS D'ALGUES.
  - V. — CAUSES DU TRACÉ COMPLIQUÉ DES COURBES ISOANTHRACITIQUES.
- CONCLUSIONS. — Résumé du mode de différenciation des roches combustibles du Nord et du Pas-de-Calais.

Les deux notions du *transport des débris végétaux* et de la *localisation sur les deux rives septentrionale et méridionale de la lagune houillère* des forêts marécageuses qui ont fourni les débris végétaux constitutifs des couches de houille permettent d'expliquer très simplement la genèse des nombreuses variétés de charbon exploitées dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Il suffit en effet d'invoquer, dans ces conditions, le *classement mécanique* des éléments végétaux et leur *accumulation sous des lames d'eau d'épaisseurs variables*.

Dans le but de simplifier l'exposé, je n'envisagerai dans les développements qui vont suivre que le mode de formation des houilles constituées par l'accumulation des débris végétaux provenant des forêts qui occupaient la *rive septentrionale* de la lagune houillère. Comme nous l'avons vu précédemment (Chapitre XX<sup>e</sup>, Carte de la Planche B), ces houilles forment trois bandes longitudinales représentant les trois grands types lithologiques. (h. celluloseuses, h. ligneuses, h. de cutine), bandes discontinues qui couvrent la presque totalité de la surface du gisement actuel.

Tout ce qui sera dit relativement à ces bandes complètes septentrionales sera du reste vrai en ce qui concerne les bandes incomplètes méridionales partiellement détruites au cours des phénomènes de charriage et d'érosion subséquente. Il suffira de se rappeler que — les houilles de cette bande du Sud provenant des débris végétaux de forêts qui se sont développées sur la *rive méridionale* de la lagune houillère — *l'origine d'alluvionnement végétal étant inverse que dans le cas*

décrit, les formations les plus littorales se trouvaient placées au Sud des sédiments plus profonds ; caractère qui se trouve exprimé par le fait que dans cette bande méridionale l'on observe un enrichissement progressif en matières volatiles des couches de houille suivant une direction Sud-Nord, direction exactement opposée à celle qui se manifeste dans la bande septentrionale.

La genèse des houilles des bandes septentrionales, dont il a été question plus haut, peut être envisagée de la façon suivante.

Les forêts marécageuses occupant les régions basses bordant vers le Nord la lagune houillère, seuls les débris végétaux entraînés vers le Sud étaient susceptibles de subir la fossilisation et de donner naissance aux veines de houille ; les autres transportés par les vents vers les aires continentales de l'île du Brabant tombaient sur des sols découverts où ils subissaient, à l'air libre, la destruction totale ou étaient emportés par les eaux de ruissellement qui les ramenaient dans le marécage boisé mélangés pêle-mêle aux éléments clastiques minéraux provenant du démantèlement de couches houillères précédemment formées et émergées.

Les débris végétaux entraînés par les vents ou les courants lents qui animaient les eaux de la lagune s'accumulaient dans des zones d'eaux tranquilles où, grâce à l'écran protecteur que constituait la forêt marécageuse, l'apport des substances minérales même les plus ténues (particules argileuses) était nul ou très faible. Dans ces régions qui pouvaient être assez voisines de la lisière de la forêt inondée et où la profondeur d'eau n'était pas forcément très grande <sup>(1)</sup>, s'accumulaient des boues végétales à peu près exemptes d'éléments minéraux qui sont devenus les points de départ de nos veines de houille.

Dans leur ensemble, ces boues végétales formaient une bande <sup>(2)</sup> parallèle au rivage et par conséquent dirigée sensiblement Est Ouest, bande discontinue interrompue, comme la forêt marécageuse elle-même, là où des fleuves ou des cours d'eau amenaient dans la lagune houillère de grandes quantités d'alluvions qui donnaient naissance à des formations d'estuaires essentiellement minérogènes.

### **I. — Formation des grands types de Charbons. — Charbons ligno-cellulosiques. — Charbons de cutine. — Charbons d'algues.**

Les fragments de tissus ligneux emportés par les vents tombaient plus ou moins vite à la surface de l'eau de la lagune et, après avoir flotté un certain temps, s'immergeaient dans leur masse où joints aux débris de bois et de sclérenchyme, exclusivement transportés par les courants, ils se sont accumulés sur le fond où ils n'ont pas tardé à être enrobés dans les masses plastiques provenant de la coagulation de substances dissoutes dérivant de la destruction des tissus celluloseux et d'autres masses ligneuses. Ainsi s'individualisaient des boues organiques essentiellement ligno-cellulosiques, point de départ des charbons ligno-cellulosiques.

(1) Dans un chapitre précédent j'ai insisté sur le rôle joué par les forêts marécageuses qui en brisant rapidement les courants provoquaient le dépôt sur leurs sols inondés de presque tous les éléments minéraux, tandis que les particules les plus fines formaient devant les zones boisées des accumulations de boues argileuses où s'enlisaient les feuilles, les fragments de feuilles et les tiges des plantes houillères. La zone située plus au large, où s'accumulaient uniquement des débris végétaux et où ne parvenaient pas les troubles minéraux, pouvait dans certaines circonstances n'être pas très éloignée de la forêt protectrice qui par sa présence rendait possible la réalisation de régions de sédimentation très calmes en des points relativement proches de la côte.

(2) J'ai montré précédemment (Chapitre XXIV) pourquoi cette bande était, en réalité, discontinue.

Pour les raisons sur lesquelles j'ai insisté dans un chapitre précédent (Chapitre XXIV<sup>c</sup>), les *spores* et les *feuilles* ou *fragments de feuilles* étaient entraînés plus loin par les vents, qui sont leurs agents de dispersion naturelle, ou par les courants lorsqu'elles étaient immergées. En s'accumulant sur le fond où elles se trouvaient enrobées dans les masses colloïdales provenant de la précipitation de substances végétales transportées à l'état dissout, elles ont donné naissance à des *boues organiques riches en cutine*, pauvres en tissus ligneux et contenant en proportions relativement faibles des corps résineux ; boues à partir desquelles se sont différenciés les charbons de cutine.

Le passage des deux types de boues organiques n'étant pas un phénomène brusque, mais graduel, il se formait dans une zone intermédiaire des *boues organiques mixtes* assez riches à la fois en débris de tissus ligneux, en spores et en cuticules qui ont donné par lapidification les charbons mixtes observés assez rarement dans notre bassin houiller pour des raisons que j'indiquerai plus loin.

Ce classement dérivait surtout, comme je l'ai montré antérieurement, d'un *processus d'ordre mécanique* mettant en jeu les différents coefficients de flottabilité des débris végétaux auxquels se superposaient des *processus d'ordre chimique* renforçant l'action des premiers. C'est ainsi que le maintien en suspension des spores peu nombreuses s'immergeant dans les zones des boues ligno-cellulosiques et mixtes permettait leur destruction totale dans les premières et leur altération dans les secondes, tandis que le transport très prolongé des tissus ligneux qui atteignaient la région des boues de cutine explique leur rareté et leur altération (gélification) consécutives à la destruction totale ou partielle <sup>(1)</sup> de leur structure organisée.

Ces phénomènes de classement ont donné naissance à des dépôts nettement *localisés* dans notre gisement et de *natures chimiques essentiellement différentes*.

Les *boues ligno-cellulosiques*, constituées par des hydrocarbures oxygénés caractérisés par les *noyaux benzéniques* (lignine) et *furaniques* (cellulose), n'ont donné dans tous les cas observés jusqu'ici que des combustibles (houilles ligno-cellulosiques et plus rarement Pseudo-Cannel Coals) dont les teneurs en matières volatiles ne dépassent guère 26%.

Les *boues riches en cutine* formées, au contraire, par des composés d'acides organiques particuliers (acide stéarocutique, acide oléocutique) voisins des acides gras à poids moléculaires élevés (acides stéarique et oléique), et par conséquent apparentés aux *corps gras naturels*, n'ont donné naissance, en règle générale, qu'à des combustibles (houilles de cuticules, houilles de spores, Cannel-Coals) contenant plus de 26% de matières volatiles, mais pouvant néanmoins présenter des teneurs bien inférieures à ce taux.

*Ces derniers dépôts (boues de cutine) se rapprochent par leur composition chimique des boues planctogènes qui ont été les points de départ de certains combustibles solides (Bogheads ou charbons d'algues) et des combustibles liquides (Pétroles) <sup>(2)</sup>. Le caractère bitumineux se trouve donc toujours lié à un caractère constant des dépôts primordiaux, la prédominance des graisses et des huiles naturelles d'origine animale ou végétale.*

Enfin, dans les zones plus profondes de la lagune houillère situées au Sud des précédentes

(1) Ces faits s'expliquent par l'existence de *déséquilibres biologiques* qui pouvaient entraîner en un point donné la destruction sélective de certaines substances végétales relativement rares.

(2) L'idée la plus généralement admise aujourd'hui est que les pétroles dérivent des *substances huileuses* provenant des animaux et des plantes qui constituent le plancton, organisme généralement microscopique et le plus souvent unicellulaire.

et où n'arrivaient plus les débris des grands végétaux vasculaires, les spores elles-mêmes devenant rares, les dépouilles d'un plancton où abondaient surtout les *algues gélosiques et huileuses* ont donné naissance à des boues très riches en huiles qui sont devenues les points de départ des *Bogheads* ou *charbons d'algues* qui peuvent être considérés comme une forme de passage entre les houilles et les roches mères des pétroles.

Dans les conditions où je me suis placé, un *classement essentiellement* mécanique dont l'action se trouvait renforcée par un *classement chimique* (destruction sélective de certains débris végétaux, transport de substances dissoutes) explique à la fois la formation des trois grands types de roches combustibles et leur répartition suivant des bandes parallèles orientées Est-Ouest.

## II. — Formation des différentes variétés de houilles existant dans chaque grand type de charbon.

Dans le cas envisagé précédemment, il est évident que tous les points d'un même dépôt de boue organique *ne se trouvaient pas placés dans les mêmes conditions de gisement*, ces conditions variant dans l'ensemble, si l'on fait abstraction des variations locales, suivant une direction Nord-Sud correspondant à un accroissement graduel de la profondeur de la dépression houillère. On comprend alors facilement que dans de telles circonstances *des dépôts initiaux identiques aient pu donner finalement des charbons de même type, mais de compositions chimiques différentes.*

### A. — FORMATION DES DIFFÉRENTES VARIÉTÉS DE HOUILLES LIGNO-CELLULOSIQUES.

J'ai rappelé précédemment que ce grand type de houille, où les teneurs en matières volatiles ne dépassent guère 26%, pouvait être divisé en deux types secondaires.

1<sup>o</sup> — Les *houilles ligneuses* contenant de 18 à 26% de matières volatiles et s'identifiant avec les houilles à coke (coking coals ou semi-bituminous coals) des techniciens.

2<sup>o</sup> — Les *houilles cellulosiques* contenant moins de 18% de matières volatiles et correspondant à l'ensemble *houilles maigres, houilles anthraciteuses* (semi anthracites) et *anthracites* des classifications techniques.

J'ai rappelé également que les secondes occupent dans le gisement, par rapport aux premières, une bande septentrionale, fait qui peut s'expliquer de la façon suivante.

Les parties les plus septentrionales des boues ligno-cellulosiques étaient précisément celles qui s'accumulaient *sous les profondeurs d'eau les plus faibles et par conséquent là où la lame d'eau reposant sur le fond était bien aérée.* Dans ces zones le dépôt des débris végétaux presque exclusivement ligneux avait lieu *dans des eaux riches en oxygène* permettant un développement et une multiplication faciles des *microorganismes destructeurs* aux dépens des fragments de plantes et des accumulations végétales. Dans de telles régions, les substances végétales subissaient, soit au cours de leur *immersion lente*, soit au cours de leur *dépôt et même après leur enrobage dans la pâte colloïdale provenant de la précipitation des substances végétales dissoutes*, l'action destructive ou transformatrice des microbes ou de leurs sécrétions qui pullulaient ou existaient en grandes quantités dans les eaux de la lagune houillère. Ces actions d'ordre chimique ou bio-chimique se poursuivaient tant que le dépôt organique restait suffisamment riche en eau pour garder une certaine plasticité et présenter les caractères d'une masse colloïdale assez semblable aux gélatines utilisées dans les laboratoires de bactériologie pour la culture de certains microbes.

Dans ces régions, le *déséquilibre biologique* existant entre les masses végétales et les quantités d'organismes destructeurs en présence passait donc par un *minimum*, caractère qui explique à la fois l'*altération des tissus ligneux qui ont conservé leur individualité* (tissus ligneux partiellement ou complètement gélifiés) et l'*abondance de la houille amorphe* (ciment ou pâte) dont les matières premières (substance en solution ou en pseudo-solution) étaient produites en grande quantité au cours de la destruction totale des *tissus cellulosiques* et de la destruction complète ou partielle (gélification) des *tissus ligneux*.

En de tels points, la *raréfaction des corps figurés* (tissus ligneux, corps résineux et éventuellement spores et cuticules) a été la résultante de l'activité particulièrement considérable des micro-organismes, *cette raréfaction expliquant la formation* très fréquente et répétée *de lits de houille amorphe* (*h. brillante = Vitrain*) qui trouvaient dans l'action même de ces organismes destructeurs une source importante de leurs substances constituantes (substances en solution ou en pseudo-solution), à partir desquelles ils s'individualisaient par *précipitation chimique*.

Les *profondeurs d'eau* croissant régulièrement vers le Sud, les teneurs en *oxygène* des parties inférieures des lames d'eau recouvrant les boues ligno-cellulosiques décroissaient graduellement suivant cette même direction, de sorte que le *déséquilibre biologique s'accroissait progressivement suivant la direction Nord-Sud*. Dans ces conditions, les boues ligno-cellulosiques les plus septentrionales ont subi l'action bactérienne maxima et ont donné, par la suite, des *anthracites* (M. V. < 8%), tandis que celles situées de plus en plus au Sud des premières ont été les points de départ des *houilles anthraciteuses* (M. V. = 8 à 10%) et des *houilles maigres* (M. V. = 10 à 18%); combustibles présentant tous les caractères de charbons ligno-cellulosiques gélifiés.

Au-delà de certains points situés encore plus au Sud que ceux où l'on rencontre les houilles maigres, l'*épaisseur de la lame d'eau devenant plus considérable le déséquilibre biologique* se trouvait accentué, de sorte que l'altération des débris ligneux qui s'immergeaient dans cette zone a été beaucoup moins poussée que dans la précédente avec, comme corollaire obligatoire, une production en quantités beaucoup moindres de substances capables de passer en solution ou en pseudo-solution. C'est donc *grâce à des déséquilibres biologiques croissant dans la direction Nord-Sud* que se sont individualisés les différents types de *houilles à coke* (M. V. = 18 à 26%) dont la plupart sont caractérisés par la présence de tissus ligneux bien conservés, enrobés dans un ciment (houille amorphe = pâte = substance fondamentale) moins abondant que dans le groupe de houilles précédent.

#### B. — FORMATION DES DIFFÉRENTES VARIÉTÉS DE HOUILLES DE CUTINE.

Les *boues de cutine*, riches en spores et en cuticules qui s'accumulaient au Sud des précédentes, se déposaient sous des profondeurs d'eau plus grandes, mais néanmoins variables, capables de provoquer des *déséquilibres biologiques* de valeurs croissantes dans la direction Nord-Sud. Il en résultait des amaigrissements décroissants, suivant cette même direction, qui ont déterminé à partir de dépôts sensiblement identiques la formation des *houilles grasses marécales* (M. V. = 26 à 32%), des *houilles grasses à gaz* (M. V. = 32 à 40 %) et des *houilles flambantes ou flénues* (M. V. = 40 à 45%) qui occupent dans le gisement des positions de plus en plus méridionales.

Dans ces régions où les débris ligneux deviennent rares et où les spores et les cuticules forment à elles seules la portion de beaucoup la plus considérable des veines de houille, les

actions microbiennes moins intenses, par suite de la plus grande épaisseur de la lame d'eau, n'ont donné naissance qu'à d'assez faibles proportions de substances dissoutes, caractère qui explique les faibles teneurs en *ciment* ou *pâte* des charbons de cutine et la *rareté relative* des lits de *houille brillante* (h. amorphe = Vitrain) dans ce type de combustible.

Plus loin vers le Sud, en des points que n'atteignaient plus que les éléments végétaux les plus légers (microspores), se déposaient en eaux plus profondes et en couches plus minces des boues végétales riches en cutine contenant également les dépouilles d'un plancton de plus en plus abondant. Ce sont ces boues très fines qui ont donné par diagenèse les *Cannel-Coals* ou charbons de microspores.

En règle générale, l'amaigrissement des boues de cutine ne s'est guère abaissé dans notre bassin houiller au-dessous de la valeur de 26% de matières volatiles que j'ai indiquée comme limite des deux grands types de charbon. Néanmoins, le fait que j'ai pu observer parmi les houilles anthraciteuses du siège 2<sup>bis</sup> des Mines de Bruay un charbon de spores type démontre que dans certains cas l'amaigrissement, beaucoup plus considérable, a pu déterminer la formation de houilles anthraciteuses à partir de telles accumulations végétales. La rareté du fait s'explique si l'on réfléchit que l'amaigrissement quasi total de dépôts organiques très riches en matières volatiles, tels que les boues de cutine (plus de 45% de M. V.), a été un phénomène qui se réalisait beaucoup plus difficilement que celui des boues ligno-cellulosiques primitivement moins riches en matières volatiles (un peu plus de 26%). Dans ces conditions, la transformation en houilles anthraciteuses de boues de cutine n'a été possible que lorsque des circonstances très particulières se trouvaient réunies. On peut supposer, par exemple, que lorsque des spores ou des feuilles, entraînées par des vents favorables, s'immergeaient dans les eaux calmes et peu profondes d'une baie ou d'un golfe, leur accumulation dans un milieu relativement riche en oxygène a permis leur altération profonde et un amaigrissement suffisant pour les faire passer à l'état d'anthracites.

L'on peut aussi admettre, comme l'ont fait antérieurement certains auteurs, que les fermentations qui affectaient normalement les deux types de dépôts étaient différentes, les unes qui s'exerçaient sur les accumulations riches en lignine et en cellulose gardant des caractères aérobies, tandis que les autres qui modifiaient les dépôts de cutine étaient, au contraire, *anaérobies*. Dans ce cas l'évolution anormale d'accumulations riches en cutine dans des conditions *aérobies* expliquerait la formation accidentelle d'anthracites à partir de cette variété de dépôt végétal.

De l'étude d'ensemble des charbons du Nord de la France, il semble que l'on doive conclure *qu'en règle générale* l'amaigrissement des dépôts végétaux riches en cutine ne s'est guère abaissé au-dessous de 26% de matières volatiles et celui des dépôts ligno-cellulosiques au-dessous de 8%. Les *houilles grasses marécales* à teneurs en M. V. voisines de 26% et les *anthracites* contenant 8% de M. V. *représentent donc respectivement les stades d'amaigrissement maximum normaux* des dépôts riches en cutine, d'une part, et des dépôts ligno-cellulosiques, d'autre part. Dans notre région, la formation d'anthracites à partir des boues de cutine serait en quelque sorte un phénomène exceptionnel.

De même qu'elle explique parfaitement la différenciation des variétés de houilles ligno-cellulosiques, la théorie de STEVENSON et de MARCEL BERTRAND rend parfaitement compte de la formation simultanée des différentes variétés de houilles de cutine et des *Cannel Coals* ainsi que de leur distribution dans le voisinage du bord sud du gisement. Cette théorie permet

également d'expliquer pourquoi les teneurs en matières volatiles d'une même veine croissent régulièrement du Nord vers le Sud jusqu'à une ligne de démarcation à partir de laquelle le phénomène inverse se produit (Chapitre XX<sup>e</sup>, Planche B).

### III. — Formation des houilles mixtes. — Absence de spores et de cuticules dans les houilles ligno-cellulosiques et altération des tissus ligneux dans les houilles de cutine.

Les houilles mixtes contenant à la fois des tissus ligneux nombreux et bien conservés associés à des spores et des cuticules n'ont été rencontrées qu'assez rarement parmi les échantillons étudiés. J'ai pu, néanmoins, constater leur existence qui démontre le passage latéral des houilles ligno-cellulosiques aux houilles de cutine et vient, par conséquent, confirmer l'hypothèse d'un classement par transport des débris végétaux.

Dans ces houilles mixtes, les spores et les cuticules sont généralement assez altérées et les tissus ligneux bien conservés, phénomène exactement inverse de celui que l'on observe dans les houilles de cutine où les spores et les cuticules bien conservées voisinent avec des tissus ligneux gélifiés. Ce phénomène s'explique de la même façon que l'absence de spores dans les houilles ligno-cellulosiques et l'altération des tissus ligneux dans les houilles de cutine.

Bien qu'il soit infiniment probable qu'en raison de la légèreté, de la nature des spores et de leur transport par les vents, les régions où elles s'immergeaient étaient normalement différentes de celles où s'accumulaient les débris de tissus ligneux véhiculés par flottage ; il n'est pas douteux qu'un certain nombre de spores devaient nécessairement tomber à la surface de l'eau dans les zones où se déposaient les boues ligno-cellulosiques, et qu'il convient, dans ce cas, d'expliquer leur destruction totale puisqu'on ne les retrouve plus dans les houilles qui en dérivent.

Dans les développements précédents je n'ai fait intervenir aucune distinction entre les organismes destructeurs, cette distinction n'étant pas nécessaire pour expliquer les faits observés. En réalité, ces organismes devaient appartenir à différentes espèces et exercer des actions sélectives sur les diverses substances végétales qui s'immergeaient où se déposaient en même temps dans les eaux de la lagune houillère. Dans ces conditions, dans une même zone il pouvait y avoir réalisation d'un déséquilibre biologique favorisant la fossilisation de certains tissus végétaux, tandis que par un phénomène exactement inverse une prédominance marquée des masses de microorganismes correspondant à d'autres substances végétales pouvait entraîner la destruction totale de ces dernières.

C'est ainsi que dans la zone des boues ligno-cellulosiques, des masses de tissus ligneux considérables mises en présence de quantités de microbes insuffisantes pour provoquer leur destruction ou même leur gélification ont permis la fossilisation de la plupart des débris lignifiés, tandis que les spores et les cuticules peu nombreuses et s'immergeant très lentement subissaient la destruction totale sous l'action de microorganismes spécialisés relativement plus nombreux.

Dans les houilles mixtes, les spores plus abondantes entraînaient la réalisation d'un déséquilibre biologique permettant, après une altération plus ou moins accentuée, la fossilisation d'un certain nombre d'entre elles.

Dans le cas des houilles de cutine l'altération des tissus ligneux, qui contraste si vivement avec la conservation parfaite des spores et des cuticules, s'explique de la même façon par la rareté



même des fragments de bois et de sclérenchyme. Tandis que les spores et les cuticules innombrables ne se trouvaient détruites qu'en petit nombre et étaient parfaitement fossilisées, les débris de tissus ligneux peu nombreux subissaient au cours d'un transport prolongé l'action de quantités relativement importantes de microbes susceptibles de les détruire ou de les gélifier. Une origine lointaine et un déséquilibre biologique défavorable contribuaient donc simultanément à leur raréfaction, par classement mécanique et par destruction totale, ou à leur altération par gélification.

Les considérations précédentes conduisent donc à cette conclusion que dans une région donnée de la lagune houillère, *les déséquilibres biologiques pouvaient n'être pas de même sens pour les différentes substances végétales*; de sorte qu'en un même point certaines d'entre elles peu abondantes pouvaient subir la destruction totale alors que d'autres moins résistantes, mais beaucoup plus nombreuses se trouvaient, au contraire, fossilisées.

Si donc l'on admet, comme l'avait fait antérieurement B. RENAULT [527], ce qui est du reste conforme à tout ce que l'on observe dans la nature actuelle, *qu'à chaque substance végétale correspondaient des microbes ou des ferments susceptibles de la transformer ou de la détruire*, le simple jeu simultané d'un classement mécanique par transport et de déséquilibres biologiques que nous avons vu présider à la formation des charbons permet d'expliquer également la destruction totale des spores et des substances cutinisées dans les zones de dépôt des boues ligno-cellulosiques, l'altération de ces mêmes substances et de ces mêmes organites dans les zones des boues mixtes et leur fossilisation parfaite dans les régions où se déposaient les boues riches en cutine. Le jeu de ces mêmes phénomènes permet d'expliquer également la rareté et l'altération des fragments de tissus ligneux des houilles de cutine et leur absence, quasi totale, dans certaines d'entre elles (Cannel-Coals et certaines houilles de spores ou de cuticules).

Ces mêmes considérations nous fournissent une deuxième explication de la rareté des houilles mixtes. Dans la lagune houillère, ces houilles mixtes se formaient d'autant plus difficilement que les accumulations riches en lignines et celles où dominait la cutine n'étaient pas toujours contiguës (Voir : Chapitre XXIV<sup>e</sup>), et que dans les rares accumulations mixtes qui se formaient des fermentations sélectives (déséquilibres biologiques) entraînaient fréquemment la destruction des substances cutinisées.

#### IV. — Formation des Bogheads ou Charbons d'Algues.

Les Bogheads forment avec les Cannel-Coals (charbons de cutine) et les Pseudo-Cannel-Coals (charbons ligno-cellulosiques) les charbons très fins, compacts, tenaces et à cassure conchoïdale que les techniciens et les mineurs désignent par le terme de *gayet* <sup>(1)</sup> et que l'on rencontre en couches souvent assez minces (passées) isolées dans les stériles ou associées aux veines de houille où elles se trouvent au mur, au toit ou en sillons ou laies intercalés dans la masse du charbon.

Les Bogheads comme les Pseudo-Cannel-Coals sont beaucoup plus rares que les Cannel-Coals types. Cependant, leur présence avait pu être signalée avant 1914 dans la concession de Nœux <sup>(2)</sup>, et au cours de mes recherches sur les gayets il m'a été donné d'en observer et d'en décrire plusieurs échantillons.

(1) Dans le Bassin houiller franco-belge les termes « *gayet* » et « *gaillet* » sont parfois utilisés dans le même sens.

(2) Ce Boghead a été trouvé à la Fosse n° 9 des Mines de Nœux à l'étage 314. Il constituait une passée irrégulière recoupée par une *bowette* reliant les Fosses 9 et 5 à 205 m. du puits n° 9. Son analyse immédiate a donné 54,70 % de matières volatiles pour 6 % de cendres.

Ces Bogheads dont les caractères lithologiques furent décrits et figurés par C. Eg. BERTRAND et B. RENAULT ont fait l'objet, tout récemment, d'une belle étude paléobotanique de M. PAUL BERTRAND [88]. D'après ces auteurs, dont les opinions ont été confirmées par M. D. ZALESSKY, et, plus récemment, par M. R. THIESSEN qui les avait d'abord contredites, les Bogheads dérivent de boues organiques d'origine presque exclusivement planctogène. Seules les algues gélosiques et huileuses dominent dans leur masse et les débris végétaux terrigènes (spores, cuticules, corps résineux, débris de bois) caractéristiques des autres charbons paléozoïques (houilles proprement dites et Cannel-Coals) deviennent très rares et font souvent complètement défaut.

D'après B. RENAULT <sup>(1)</sup>, les Bogheads passent aux Cannel-Coals par enrichissement progressif en débris végétaux terrigènes.

Il n'est donc pas douteux que les Bogheads sont des formations d'eaux assez profondes ou très calmes où n'arrivaient plus normalement les débris des végétaux arborescents des forêts côtières et représentent par rapport aux houilles et aux Cannel-Coals des faciès moins littoraux.

Leur présence exclusive dans le voisinage du bord sud actuel du gisement vient donc confirmer la conclusion résultant de l'étude des charbons caractéristiques de cette zone (houilles de cutine et Cannel-Coals). Elle démontre qu'aux moments où il se déposait des charbons dans ces régions méridionales du gisement actuel, celles-ci correspondaient toujours à la zone centrale ou tout au moins à une zone relativement profonde du bassin de sédimentation.

C'est dans cette zone profonde <sup>(2)</sup> que des boues organiques d'origine terrigène (boues de microspores) ou planctogène (boues d'algues gélosiques) ont donné naissance à des formations généralement peu épaisses qui sont devenues les points de départ des passées et des sillons de gayets que l'on observe actuellement. Le fait que ces boues étaient constituées par des *substances apparentées aux corps gras* (graisses et huiles) et qu'elles se sont accumulées *sous des profondeurs d'eau importantes*, et par conséquent en milieu pauvre en oxygène, explique que leur diagénèse ait abouti à la formation des *combustibles solides les plus riches en matières volatiles* que l'on connaisse.

## V. — Les Causes du Tracé compliqué et irrégulier des Courbes isoanthracitiques.

Les recherches de M. P. GÉNY dans la concession de Courrières et tous les travaux similaires ont montré que le tracé des courbes d'égales teneurs en matières volatiles (courbes isoanthracitiques) d'une même veine de houille conduisait à la figuration de lignes irrégulières présentant des indentations profondes <sup>(3)</sup>.

D'autre part, le tracé des courbes isoanthracitiques des teneurs de 30 % en M. V. d'un certain nombre de veines superposées <sup>(4)</sup> démontre dans l'ensemble leur parallélisme dérangé seulement dans certains points par des variations locales.

(1) Ce sont ces charbons spéciaux mixtes que Renault désignait par le terme de *Cannels-Bogheads* : Voir en particulier B. RENAULT [527], p. 135.

(2) Étant donnés les caractères très particuliers du géosynclinal houiller, il y a lieu de ne pas perdre de vue *que cette profondeur était toute relative* et que l'épaisseur de la lame d'eau n'était pas forcément considérable même dans les régions où s'accumulaient les boues organiques génératrices des Bogheads ou des Cannel-Coals.

(3) Voir à ce sujet les planches III et IV du mémoire de M. GÉNY [254].

(4) Il s'agit en l'espèce des Veines *Eugénie, Amé, Marie, Joséphine, Sainte-Barbe, Cécile, Augustine, Mathilde, Julie et Marthe* du faisceau sud de la concession de Courrières. Les courbes sont représentées par la planche V du mémoire cité dans la note précédente. Consulter aussi le tableau XL (p. 391) de ce mémoire.

Dans la théorie acceptée par M. GÉNY (identité des courbes de niveau de la lagune houillère et des courbes isoanthracitiques), ce parallélisme d'ensemble des courbes de mêmes teneurs en M. V. des veines superposées conduit à la même conclusion que j'ai émise dans le paragraphe précédent, que sur une verticale donnée les mêmes conditions de profondeur se trouvaient sensiblement réalisées identiques à elles-mêmes aux différents moments où se sont déposées ces veines successives <sup>(1)</sup>.

Dans la théorie de MARCEL BERTRAND-STÉVENSON, reprise par MM. STAINIER et GÉNY et faisant intervenir presque uniquement l'épaisseur de la lame d'eau comme facteur de différenciation de dépôts organiques sensiblement identiques à l'origine, comme dans la théorie que j'ai développée dans le présent mémoire où j'ai admis la superposition d'une *différenciation originelle* consécutive à un classement mécanique ou chimique par transport et une *différenciation secondaire* résultant surtout des variations d'épaisseur de la lame d'eau recouvrant les accumulations végétales, la répartition des diverses variétés de houille dépendait surtout du *tracé du rivage* et de la *topographie du fond de la lagune houillère* susceptibles d'influencer les conditions de dépôt.

Dans ces conditions, il est évident que l'existence dans la lagune houillère de hauts fonds ou de régions profondes suffit pour expliquer l'irrégularité des courbes isoanthracitiques et que cette existence ne peut-être niée par le fait même des irrégularités d'épaisseur des stampes stériles. Il est, en effet, certain que le fond de la lagune houillère, constitué après chaque subsidence par des roches appartenant à des formations continentales ou sub-continentales et, par conséquent, d'importances variables sur des étendues relativement restreintes, devait présenter un relief appréciable capable d'expliquer la réalisation, en des points même rapprochés, de conditions de dépôt différentes.

Néanmoins, il semble bien que les valeurs absolues des épaisseurs de la lame d'eau surplombante représentées par les courbes de niveau n'étaient pas les seuls facteurs susceptibles d'influencer à la fois la nature du dépôt et les teneurs en oxygène des lames d'eau en contact avec le fond de la lagune où s'accumulaient les débris végétaux. En particulier, le calme ou l'agitation de l'eau intervenait à profondeur égale pour modifier considérablement les conditions de dépôt. Il est, en effet, évident que dans une eau très calme les débris organiques se déposaient plus rapidement et en très grandes quantités, tandis que l'aération médiocre déterminait dans la lame d'eau, reposant sur le fond, de faibles teneurs en oxygène qui entravaient le développement des micro-organismes destructeurs. Au contraire, pour une épaisseur égale une certaine agitation de l'eau contrariait le dépôt des fragments végétaux entraînés plus loin par le fluide en mouvement et déterminait des teneurs relativement fortes en oxygène consécutives à une aération intense provoquée par ce mouvement même et permettant le développement en quantités prodigieuses des microbes et des ferments provenant de leur activité. Dans ces conditions, *sous des profondeurs d'eau identiques*, la *nature des débris végétaux* accumulés variait suivant que l'eau était calme ou agitée et le *déséquilibre biologique* pouvait être favorable ou défavorable à la fossilisation de tout ou partie des substances organisées.

Or, de telles différences pouvaient encore être provoquées par les *courants locaux*, même assez lents, qui existaient certainement dans des masses d'eau assez importantes où les concentrations

(1) Le déportement, quasi régulier, vers le Sud des courbes de 30 % de M. V. des diverses veines étudiées s'explique comme l'a indiqué M. P. GÉNY par la loi de Hilt (amaigrissement progressif avec la profondeur).

en substances dissoutes étaient forcément très diverses et par la *configuration du rivage* où certaines particularités telles que la présence de caps ou de baies modifiaient plus ou moins profondément les conditions de sédimentation. Sans entrer dans le détail de ces modifications que l'on trouvera exposées dans tous les manuels de Géologie, on peut néanmoins conclure que les courbes iso-anthracitiques ne représentent pas exactement les courbes de niveau de la lagune houillère, *mais l'ensemble des points où le rapport existant entre la profondeur d'eau et son état d'agitation permettaient la réalisation de conditions de sédimentations identiques*, c'est-à-dire la formation de dépôts végétaux et de déséquilibres biologiques semblables.

Pour toutes les raisons citées précédemment, l'on comprend facilement que de telles courbes puissent présenter des tracés très sinueux et fort compliqués sans toutefois coïncider absolument avec les courbes de niveau du bassin de sédimentation.

### Conclusions du chapitre vingt-neuvième.

D'après ce qui précède, l'on peut donc conclure que dans le Bassin houiller du Nord de la France les causes de la différenciation des roches combustibles peuvent être résumées de la façon suivante :

1<sup>o</sup> — Un *classement mécanique* par flottage de débris végétaux en suspension dans l'eau, succédant dans certains cas à un transport par les vents qui permettait un premier triage des éléments, déterminait le dépôt dans des zones différentes des substances ligneuses (bois, sclérenchyme) d'une part, et des substances cutinisées (spores, cuticules), d'autre part.

2<sup>o</sup> — Un *classement chimique* par transport de substances végétales dissoutes ou en pseudosolutions déterminait par précipitation ou coagulation la formation d'une pâte amorphe, colloïdale enrobant les débris végétaux, et permettant l'individualisation de boues organiques. Ces boues suivant la nature de ces débris donnaient naissance à des dépôts ligno-cellulosiques, à des dépôts mixtes ou à des dépôts de cutine dont les compositions chimiques très différentes caractérisent des types de houilles particuliers (houilles ligno-cellulosiques, houilles mixtes et houilles de cutine).

3<sup>o</sup> — Les *conditions de sédimentation* dans lesquelles se trouvaient placés ces différents dépôts variant, en quelque sorte, à l'infini et résultant de l'*épaisseur de la lame d'eau* et de son *état de calme ou d'agitation* déterminaient des *déséquilibres biologiques*, générateurs de *fermentations variées*, de sens et de valeurs différents qui entraînaient, par conséquent, des amaigrissements plus ou moins accentués d'accumulations végétales primitivement semblables.

4<sup>o</sup> — La *localisation* dans les régions centrales des boues de cutine et celle des boues ligno-cellulosiques dans les zones septentrionales et méridionales, d'une part, l'*approfondissement progressif* de la lagune houillère vers l'axe du bassin de sédimentation, d'autre part, expliquent par le jeu des phénomènes de classement et de déséquilibres biologiques de valeurs variées l'*enrichissement graduel en matières volatiles des couches de houille suivant la direction Nord-Sud* dans la majeure partie du gisement et *suivant la direction Sud-Nord* dans la zone marginale du bord méridional.

5° — Les boues ligno-cellulosiques qui se déposaient le plus près du rivage, et par conséquent dans les zones où les eaux étaient les moins profondes, subissaient des altérations (amaigrissement) surtout intenses dans la partie nord ou sud de ces accumulations végétales, là où la lame d'eau était plus mince. Dans ces conditions, des amaigrissements accentués ont permis la formation à partir de dépôts cellulotiques ou ligno-cellulosiques pauvres en tissus ligneux d'*anthracites*, de *houilles anthraciteuses* et de *houilles maigres* dans les régions Nord et Sud du gisement, tandis que de part et d'autre d'une zone médiane une altération beaucoup plus faible des boues ligno-cellulosiques riches en lignine ou de boues mixtes donnait naissance aux *houilles à coke*.

6° — Les boues de cutine qui s'accumulaient dans une zone médiane située entre les précédentes, dans des régions où la lame d'eau était de plus en plus épaisse au fur et à mesure que les aires de dépôt s'éloignaient de la rive Nord ou de la rive Sud, ont subi des amaigrissements décroissant suivant une direction Nord-Sud ou une direction Sud-Nord selon leur position dans le bassin de sédimentation primitif, de sorte qu'elles ont permis l'individualisation de *houilles grasses marécales*, de *houilles grasses à gaz*, de *houilles flambantes* et de *Cannel-Coals* suivant des bandes plus ou moins parallèles et symétriquement disposées.

7° — A ces causes d'évolution précoce sont venues s'ajouter ultérieurement des actions qui se sont exercées sur l'ensemble du gisement en déterminant des élévations de température et de pression qui, bien que s'étant manifestées dans les profondeurs, semblent devoir être rangées plutôt parmi les actions diagénétiques que parmi les actions métamorphiques. Ces actions diagénétiques plus ou moins tardives ont surtout provoqué des évolutions parallèles des divers types de combustibles et n'ont contribué que pour une part assez faible à leur différenciation.

En résumé, sans nier la réalité des actions amaigrissantes que l'on a rangées dans un métamorphisme général (profondeur d'enfouissement) ou dans un métamorphisme dynamique (pressions orogéniques) qui ont pu s'exercer sur l'ensemble des couches du gisement en leur faisant subir des modifications parallèles, nous pensons que les facteurs essentiels de la *différenciation des diverses variétés de houille du Nord de la France doivent être recherchées dans la nature chimique du dépôt initial et dans les conditions de sédimentation qui par leurs variations ont permis la réalisation de déséquilibres biologiques capables de provoquer des amaigrissements variables d'accumulations végétales primitivement identiques*.

Cette différenciation était donc esquissée très tôt et poursuivie au cours des phénomènes de dépôt pendant le laps de temps qui s'écoulait entre ce dépôt et l'enfouissement de l'accumulation végétale sous d'autres sédiments. Cette conclusion vient donc confirmer *a fortiori* une opinion émise en 1904 par M. Ch. BARROIS <sup>(1)</sup> que le classement des houilles du Nord de la France est antérieur à l'ouverture des failles.

Nos conclusions sur l'évolution très précoce des sédiments combustibles sont, en outre, conformes aux idées actuellement admises par M. LUCIEN CAYEUX en ce qui concerne l'évolution rapide de tous les sédiments de quelque nature qu'ils soient.

---

(1) CH. BARROIS [12] — *Ann. Soc. géol. Nord*. T. XXXIII (1904), p. 171.

## QUATRIÈME PARTIE

### CHAPITRE TRENTIÈME

# LES CAUSES DE LA FORMATION DES VEINES DE HOUILLE

De l'ensemble des faits exposés précédemment, il est facile de dégager les causes de la formation des veines de houille.

Pendant toute l'époque houillère qui a précédé la grande poussée Sud-Nord, génératrice des renversements et des charriages, des affaissements du sol continus ou saccadés ont permis l'existence d'une « aire de subsidence » très particulière dont la faible profondeur d'eau n'a jamais rendu possible que les accumulations de sédiments littoraux et même semi-continentaux. A ces affaissements du bassin de sédimentation correspondaient des soulèvements des aires continentales ou régions anticlinales qui formaient les rives de cette dépression, de sorte que grâce à ces mouvements compensateurs la topographie générale de toute la région a pu rester sensiblement la même pendant très longtemps.

Ce bassin d'apparence si spéciale, où l'on peut néanmoins observer des épaisseurs de sédiments dépassant 2000 mètres, constituait dans le Nord de la France une région basse déprimée, constamment inondée, parfois envahie par les eaux de la mer, région dont les rives se trouvaient plus ou moins éloignées des escarpements formant les aires d'érosion active dont provenaient les matériaux nécessaires à l'accumulation des stamperes stériles qui occupent dans le complexe sédimentaire houiller une place si prépondérante <sup>(1)</sup>.

Dans les régions où la rive de la lagune se trouvait assez éloignée des escarpements pour ne pas être ensablée ou envasée trop rapidement par les éléments détritiques transportés par les fleuves ou les eaux sauvages se développaient des forêts marécageuses peuplées de végétaux gigantesques, à croissance très rapide, dont la rigidité, surtout assurée par la turgescence de tissus

(1) Alors qu'on doit attribuer à ce complexe sédimentaire une puissance dépassant 2.000 mètres, l'ensemble des couches de houille et des passées ne représente guère plus d'une quarantaine de mètres d'épaisseur.

mous gorgés d'eau, n'impliquait pas une lignification très accentuée de leur masse <sup>(1)</sup>. Le développement de ces forêts d'arbres géants était contrarié par des changements continuels du niveau de base résultant soit des subsidences, soit du jeu de la sédimentation qui par ennoyage ou exondation étaient susceptibles de provoquer la mort des végétaux par asphyxie ou par dessiccation (Planche D).

Dans de telles circonstances, la végétation houillère ne pouvait triompher de ces conditions défavorables que par une croissance très rapide de ses arbres géants et par une exagération des fonctions de reproduction seules capables de permettre la conservation des espèces. Ce double résultat n'a pu être obtenu que grâce à une adaptation parfaite des végétaux au milieu ambiant, adaptation parfaite mise en évidence par les caractères anatomiques des plantes houillères; caractères qui expliquent à leur tour les importances respectives des rôles joués par les substances végétales cutinisées (spores, cuticules) et les substances ligneuses (bois, sclérenchyme) dans la formation des couches de charbon.

L'étude anatomique des végétaux houillers, surtout des Sigillaires et des Lépidodendrons, révèle la prédominance des tissus mous qui formaient presque complètement à eux seuls toute la masse du cylindre central où les vaisseaux du bois étaient eux-mêmes à peine lignifiés <sup>(2)</sup>. Les substances ligneuses n'existaient guère que dans les écorces où les fibres fortement sclérifiées constituaient les seules parties squelettiques formées par une gaine cylindrique d'épaisseur relativement mince. Les substances ligneuses ne formaient donc qu'une assez faible proportion de l'ensemble du végétal vivant.

Dans les conditions de vie où elles étaient placées, les plantes houillères devaient être nécessairement pourvues de moyens de reproduction et de dissémination extrêmement légers et mobiles puisque leur mode de transport presque exclusif était constitué par les vents, et il est dès lors évident que les végétaux se reproduisant par spores, du reste beaucoup plus nombreux, se trouvaient nettement favorisés par rapport aux plantes à graines; ces dernières étant plus volumineuses et plus lourdes que les macrospores et les microspores. Le fait même que ces spores de tailles si réduites forment presque à elles seules des couches très étendues de plus de un mètre d'épaisseur suffit pour démontrer en quelles quantités prodigieuses elles étaient produites.

Cette croissance rapide des végétaux houillers et cette production extrêmement abondante de spores facilitées par un climat chaud et uniforme exigeaient toutes deux les synthèses de masses considérables d'hydrates de carbone et des autres substances hydro-carbonées; synthèses qui supposent elles-mêmes un grand développement de l'appareil foliaire puisque c'est dans les feuilles qu'ont lieu la plupart des réactions qui transforment la sève brute en sève élaborée. Or, le grand développement des feuilles de fougères est bien connu et il suffit d'observer une tige de Lépidodendron ou de Sigillaire pour se rendre compte, eu égard au nombre des cicatrices foliaires, des quantités considérables de feuilles produites au cours de la vie d'un même individu.

(1) J'ai rappelé antérieurement que les *Sigillaires* et les *Lépidodendrons* qui semblent avoir joué le rôle prépondérant dans la formation des couches de houille ne possédaient guère comme partie squelettique de soutien que leur zone corticale dont les fibres étaient fortement sclérifiées. D'après M. P. BERTRAND les tissus vasculaires ligneux de ces mêmes plantes étaient au contraire très faiblement lignifiés.

(2)-C'est ce caractère anatomique qui explique l'aplatissement presque constant des troncs couchés.

De ce qui précède, il résulte que les plantes houillères *ne donnaient naissance qu'à des quantités relativement faibles de substances ligneuses* (bois, sclérenchyme), tandis qu'elles produisaient, au contraire, *des quantités beaucoup plus importantes de substances cutinisées* sous forme d'exines de spores ou de cuticules de feuilles. Ainsi se trouve expliqué le fait que j'ai signalé que, contrairement à l'opinion antérieurement admise, les tissus ligneux ne jouent jamais dans la formation des couches de houille un rôle exclusif, tandis que les substances cutinisées (spores, cuticules) se rencontrent en quantités beaucoup plus importantes dans certaines veines de charbon dont elles constituent les éléments essentiels.

J'ai indiqué précédemment comment les forêts marécageuses constituaient un écran protecteur qui en amortissant, grâce à leur sol accidenté et planté d'innombrables arbres, la vitesse des courants annulaient rapidement les facultés de transport des eaux et provoquaient le dépôt des particules minérales les plus ténues. Dans ces conditions, au large de ces forêts, dans des régions qui pouvaient ne pas être très éloignées de leur lisière, existaient des zones d'eaux tranquilles où n'arrivaient plus que les débris de bois, les spores, les cuticules et les corps résineux entraînés par les vents ou par un flottage très lent à la surface des eaux.

Ces fragments de végétaux s'immergeaient lentement et s'accumulaient sur le fond où la coagulation de substances végétales transportées à l'état de solution ou de pseudo-solution les enrobait dans une masse colloïdale amorphe et donnait naissance aux boues organiques, point de départ des couches de houille.

Nous avons vu également que ces boues organiques ont pu s'accumuler grâce à un déséquilibre biologique, les quantités de débris végétaux dérivant de l'activité des plantes houillères dépassant de beaucoup celles que des organismes microscopiques en présence étaient capables de détruire.

Ce mode de formation des boues organiques, point de départ des couches de houille, implique forcément *une accumulation considérable et très rapide des débris végétaux*, car il est évident que le dépôt des faibles quantités caractéristiques d'une accumulation lente n'aurait jamais permis la réalisation du déséquilibre biologique nécessaire à leur individualisation.

Ce caractère (rapidité de la formation des boues végétales) semble du reste être bien d'accord avec le fait que les puissantes couches de grès grossiers, d'allure souvent lenticulaire, que l'on observe dans les stampes stériles paraissent bien résulter elles-mêmes de phénomènes de sédimentation rapide.

La fossilisation des accumulations végétales était favorisée par le fait que les couches de houille en voie de formation étaient progressivement recouvertes, aussi bien au cours des transgressions (Pl. D, Fig. 81<sup>t</sup> a et b) que des régressions (Pl. D, Fig. 81<sup>t</sup> c, Fig. 82<sup>t</sup> b et c), soit par de nouveaux lits de roche combustible, soit par les roches stériles de leur toit et se trouvaient ainsi soustraites relativement tôt aux actions destructives des micro-organismes et des ferments.

En dernière analyse, si l'on met à part les causes très générales qui ont créé le milieu même, *la cause essentielle de la formation des couches de houille semble être uniquement ce déséquilibre biologique* que nous avons vu présider à la différenciation des deux types de dépôts initiaux et donner naissance aux nombreuses variétés de charbon du bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Ce déséquilibre biologique favorisé par le jeu, suivant certaines modalités, des lois habituelles de



la sédimentation, n'a été lui-même *que la conséquence d'une adaptation parfaite de la végétation houillère aux conditions de milieu où elle a dû se développer*, adaptation si parfaite que les arbres géants de l'époque houillère ont disparu avec elle, incapables qu'ils étaient de croître et de se développer dans les conditions de milieu très différentes qui lui ont succédé.

Le mécanisme de la formation des couches de houille apparaît donc comme procédant des mêmes causes qui ont déterminé l'accumulation des roches mères des pétroles. L'analogie est surtout frappante en ce qui concerne les houilles de cutine, normalement riches en hydrocarbures volatiles, et les roches bitumineuses dont proviennent les hydrocarbures liquides naturels qui dérivent respectivement, les premières des *corps gras végétaux* (cutine des plantes houillères), les dernières des *corps gras animaux* (lécithines, substances albuminoïdes, protoplasme, etc... des animaux supérieurs et surtout du plancton microscopique.)

Envisagée de cette façon, la formation des couches de houille, qui a permis la fossilisation de quantités considérables d'énergie solaire que nous pouvons utiliser aujourd'hui, n'apparaît plus que comme un épisode particulier d'un phénomène très général caractéristique des êtres vivants, *l'adaptation de plus en plus parfaite des êtres organisés aux conditions du milieu ambiant.*

C'est en raison de cette particularité que, comme les Ammonites de grandes tailles et les reptiles gigantesques de l'ère secondaire, les Cryptogames vasculaires géantes de l'époque houillère trop bien adaptées aux conditions particulières du milieu où elles ont vécu n'ont pu survivre à la période géologique qu'elles ont caractérisée.

---

## CONCLUSIONS GÉNÉRALES DU MÉMOIRE

Les résultats des recherches qui m'ont permis de publier le présent mémoire peuvent être résumés brièvement de la façon suivante :

*Au point de vue de la technique pétrographique*, j'ai pu mettre au point et généraliser une méthode de préparation des surfaces polies de houille applicable sans aucune exception à tous les charbons paléozoïques. Cette méthode qui consiste à utiliser différents procédés de polissage des échantillons de houille destinés à l'examen métallographique (examen microscopique en lumière réfléchie) m'a permis non seulement d'étudier de nombreux échantillons de houilles à hautes teneurs en matières volatiles (bituminous coals) et de houilles maigres (anthracites), mais encore d'aborder l'examen jusqu'à présent négligé des houilles intermédiaires (houilles à coke = semi-bituminous coals).

La grande généralité de cette méthode résulte du fait que j'ai pu l'appliquer avec succès aux houilles paléozoïques françaises du Westphalien et du Stéphalien, à certains schistes bitumineux ou charbonneux du houiller, aux houilles paléozoïques européennes, africaines, américaines et asiatiques et à des combustibles d'âge secondaire ou tertiaire.

Dans l'état actuel de nos connaissances cette méthode, qui permet l'emploi de grossissements très puissants (dépassant 2.000 diamètres) et l'observation dans de telles conditions des détails de structure les plus fins, est plus simple et plus générale que toutes les autres méthodes (examen métallographique de surfaces polies et attaquées, examen par transparence de lames minces ou de coupes au microtome, méthode des macérations, méthode des incinérations) employées dans les recherches microscopiques sur la structure des roches combustibles.

Par sa grande généralité cette méthode d'investigation m'a permis d'aborder une étude microscopique d'ensemble de toutes les variétés de combustibles d'un bassin houiller contenant en même temps tous les types de charbons paléozoïques.

*Au point de vue paléontologique*, mes recherches ont mis en évidence les caractères des houilles paléozoïques.

Tandis que certains considéraient les houilles proprement dites comme ayant une origine essentiellement ligneuse et comme étant formées surtout de grands fragments de troncs, de tiges de rameaux ou au moins de débris de grandes tailles d'écorces sclérifiées des plantes houillères, mes observations montrent que les tissus ligneux n'ont pas joué le rôle prépondérant qu'on leur a prêté et que toutes les substances végétales ayant conservé une structure organisée n'existent dans la houille que sous forme de menus débris (fragments de bois, de sclérenchyme, de feuilles ou de tissus sécréteurs, le plus souvent de dimensions quasi microscopiques) ou d'organismes de très petites tailles (macro- et microspores).

A l'ancienne notion que les houilles sont des feutrages de grands débris végétaux tels que des troncs, des tiges, des branches ou des fragments d'écorces sclérifiées comparables à certaines tourbes actuelles, l'on doit donc substituer *la notion d'une roche combustible dont les débris organisés sont généralement de dimensions telles qu'ils ont pu être transportés par les vents.*

*Au point de vue pétrographique*, mes recherches m'ont permis de décrire et de figurer les roches houillères riches en éléments organiques et d'en donner une classification rationnelle.

Parmi les roches combustibles terrigènes j'ai pu ainsi distinguer :

Les *roches ligno-cellulosiques* comprenant un certain nombre de houilles proprement dites (houilles cellulosiques et houilles ligneuses), les Pseudo-Cannel-Coals, les schistes et les grès charbonneux.

Les *roches de cutine* comprenant des houilles proprement dites (h. de spores et de cuticules) les Cannel-Coals et les schistes bitumineux.

Les *roches mixtes* contenant à côté des tissus ligneux nombreux et bien conservés des macropores et des cuticules, roches mixtes qui dans l'état actuel de nos connaissances semblent être beaucoup plus rares dans notre bassin houiller que les deux types extrêmes.

A l'inverse de tous les types précédents caractérisés par des débris végétaux d'origine terrigène, les Bogheads ou charbons d'algues représentaient le type des *roches planctogènes*.

Ainsi se trouve mis en évidence *le rôle prépondérant joué par les substances végétales cutinisées* (spores, cuticules) dans la formation d'un grand nombre de veines de houille *et démontré le classement mécanique par flottage* des deux grands types de débris végétaux constitutifs des charbons, les spores et les cuticules d'une part, les fragments de bois et de sclérenchyme, d'autre part.

*Au point de vue du mode de formation des couches de houille*, mes observations ont montré que toutes les houilles étudiées jusqu'ici par la méthode indiquée présentent des caractères tels qu'on doit leur attribuer, sans exception, *une origine allochtone* (formation par transport). L'absence totale de racines dans leur masse, le classement de leurs débris végétaux, la stratification remarquable d'éléments quasi microscopiques, la nature et les caractères mêmes de ces débris végétaux, qui tous étaient susceptibles d'être transportés par les vents, démontrent que toutes les veines de charbon étudiées dérivent de boues organiques accumulées dans des zones très calmes du bassin de sédimentation où elles s'individualisaient par précipitation de substances végétales transportées à l'état de solution ou de pseudo-solution ; précipitation qui donnait naissance à un ciment colloïdal amorphe enrobant les débris végétaux en suspension dans l'eau de la lagune houillère dans le voisinage du fond et y subissant une précipitation mécanique.

Cette hypothèse, qui invoquant le rôle essentiel du transport se range parmi celles qui attribuent à la houille une origine allochtone, tient compte des faits incontestables révélés par les sols de végétation fossiles et invoqués par les autochtonistes. Elle admet seulement que la veine de houille est une alluvion végétale due au transport des substances organiques dans les limites étroites de la lagune houillère, soit par les vents, soit par flottage en eau tranquille.

Le mécanisme de la formation des couches de houille est donc identique à celui de la plupart des roches sédimentaires consolidées d'origine terrigène.

*Au point de vue stratigraphique*, nos observations montrent que contrairement à certaines opinions précédemment émises, il n'existe aucun rapport entre l'âge d'un charbon et ses caractères lithologiques et chimiques. Il est prouvé, en effet, que des houilles de mêmes compositions chimiques et de caractères lithologiques quasi identiques se rencontrent à tous les niveaux du houiller productif de la base du Westphalien jusque dans le Permien.

L'étude microscopique de nombreux échantillons de houille prélevés en des points soigneusement repérés du gisement du Nord et du Pas-de-Calais m'a permis, par contre, de montrer que les différents types de dépôts initiaux ne se trouvent pas distribués au hasard, mais forment des bandes longitudinales dirigées sensiblement Est-Ouest, et que dans le complexe des bandes septentrionales qui s'observe dans la majeure partie de l'étendue du gisement actuel, la bande des houilles ligno-cellulosiques beaucoup plus étendue en surface se trouve placée au nord de la bande des houilles de cutine plus puissante et renfermant des veines de charbon plus épaisses. Cette constatation n'est au fond qu'une expression différente du même phénomène qui se traduit par la répétition bien connue des faciès « grès », « schistes », « houille » phénomène qui implique qu'en un même point les mêmes conditions de sédimentation se sont trouvées réalisées identiques à elles-mêmes un grand nombre de fois grâce au jeu de la sédimentation et des subsidences.

Certaines anomalies stratigraphiques telles que la rareté des houilles mixtes dans le Pas-de-Calais et la disparition de la majeure partie de la zone des houilles de cutine dans le département du Nord s'expliquent par les mêmes considérations générales invoquées comme causes déterminant les différences fondamentales qui caractérisent ces deux parties du gisement français (enlèvement par dénudation de la presque totalité de l'assise de Bruay dans le département du Nord).

*Au point de vue des causes de la différenciation des nombreuses variétés de houille du Nord de la France*, l'observation microscopique souligne, d'une part, les rôles prépondérants joués par les natures différentes des dépôts initiaux qui ont déterminé la formation simultanée en des points différents des deux grands types de houilles (h. à hautes teneurs en matières volatiles = h. de cutine, h. à teneurs moyennes et faibles en matières volatiles = h. ligno-cellulosiques) et d'autre part, comment, étant donnés leur mode de formation par flottage et leur distribution dans le gisement, ces deux types de boues végétales placées dans des conditions de dépôt différentes (variations d'épaisseurs des lames d'eau surplombantes, état d'agitation ou de calme de cette même lame d'eau, etc...) ont pu donner naissance aux nombreuses variétés commerciales de houille exploitées dans le bassin du Nord et du Pas-de-Calais.

Cette double explication, qui rend exactement compte de l'enrichissement progressif en matières volatiles de toutes les veines de houille, soit suivant une direction Nord-Sud, soit suivant une direction Sud-Nord, n'implique pas la négation du rôle joué par les actions diagénétiques qui se sont exercées sur les couches de charbon postérieurement à leur enfouissement (Actions résultant, par exemple, des élévations de pression ou de température consécutives aux poussées tangentielles ou à l'enfouissement sous des épaisseurs considérables de sédiment), mais limite ce rôle à une action d'ensemble s'exerçant simultanément sur toutes les couches déjà différenciées et trouvant son expression dans la loi de HILT, si souvent vérifiée dans un

complexe de veines n'excédant pas une certaine épaisseur, où l'amaigrissement progressif avec la profondeur peut généralement être observé.

Cette double explication implique, par contre, une différenciation très précoce des diverses variétés de charbons, idée pleinement d'accord avec l'opinion antérieurement émise par M. CH. BARROIS « que la lithogénèse des roches houillères était terminée avant l'ouverture des failles » et conforme à l'idée de l'évolution rapide des sédiments qui selon M. CAYEUX se sont différenciés tout au début de leur diagénèse.

*Au point de vue des causes de la formation des veines de houille*, si l'on excepte celles très générales telles que la nature du climat, la configuration du sol, le jeu des subsidences et de la sédimentation, etc..., qui créaient le milieu lui-même, la cause essentielle de l'accumulation des boues végétales, point de départ des couches de charbon, était un *déséquilibre biologique* résultant d'une disproportion entre les masses en présence de débris végétaux et de microorganismes capables de les détruire.

Ce déséquilibre biologique a été rendu possible par le fait que les végétaux houillers ont dû s'adapter à certaines conditions défavorables qui tendaient à entraver leur développement et leur dissémination, les changements incessants des lignes de rivage, soit du fait de la sédimentation, soit du fait des subsidences entraînant la destruction par exondation ou par ennoyage de nombreux arbres sur pied.

Cette adaptation, qui s'est traduite par une exagération des phénomènes vitaux capables de permettre une croissance très rapide d'arbres gigantesques et la production intense des organes de reproduction et de dissémination, explique la genèse, en quantités prodigieuses, des feuilles et des spores dont les cuticules et les exines forment presque à elles seules toute la masse de nos plus belles veines de houille et la rareté relative des tissus ligneux qui ne constituent jamais qu'une partie, parfois assez faible, des veines de charbons ligno-cellulosiques.

En dernière analyse, les causes déterminantes de la formation des couches de houille et des roches mères des pétroles sont exactement de même ordre et consistent en des déséquilibres biologiques rendus possibles par certaines circonstances particulières impliquant dans les deux cas des accumulations considérables et très rapides de substances organiques animales ou végétales.

*Au point de vue des lois générales de la sédimentation*, j'ai pu montrer l'importance des phénomènes de tension superficielle dans le classement par transport des débris végétaux des houilles et mettre en évidence les analogies existant entre ces phénomènes naturels et ceux utilisés dans la technique industrielle des méthodes de flottation employées couramment aujourd'hui pour concentrer les minerais sulfurés trop pauvres pour être traités tels quels ou pour séparer le poussier de charbon des poussières de schiste qui le souillent.

J'ai pu ainsi attirer l'attention sur ces phénomènes de tension superficielle qui ont également joué un rôle dans le transport, le classement et la précipitation mécanique de tous les éléments des roches clastiques et qui permettent de comprendre des anomalies que l'on s'était borné jusqu'ici à signaler.

*Au point de vue de la technique de la détermination des propriétés industrielles des houilles,* mes observations, en démontrant l'hétérogénéité des charbons, expliquent certaines anomalies constatées dans les analyses immédiates des combustibles et attribuées jusqu'ici à des erreurs de méthode ou d'expérience. La présence dans certaines houilles à hautes ou à moyennes teneurs en matières volatiles d'un constituant pauvre en ces mêmes matières volatiles et dépourvu de tout pouvoir cokéfiant, le Fusain, suffit pour expliquer certaines discordances entre les résultats d'analyse d'une même poudre hétérogène. Ce même facteur (hétérogénéité des prises d'essais) jouant surtout lors de la présence dans une houille grasse ou demi-grasse du véritable anthracite particulier qu'est le Fusain (houille mate fibreuse) peut être invoqué à des degrés moindres pour tous les échantillons de houille qui, sauf de très rares exceptions, ne forment jamais des masses rigoureusement homogènes.

Il n'est pas douteux que l'étude microscopique des charbons permettra de compléter ainsi les analyses immédiates de houilles, analyses qui pourront elles-mêmes être avantageusement combinées aux méthodes de tamisage, de flottation et de séparations électromagnétiques ou autres préconisées dans le cours de ces dernières années.

*Au point de vue de la composition chimique des houilles,* j'ai pu mettre en évidence les rapports constants qui existent entre leurs compositions chimiques et leurs caractères lithologiques et montrer, surtout, quelles sont les relations que l'on peut établir entre la nature des substances végétales qui ont donné naissance aux dépôts initiaux et les propriétés chimiques actuelles des charbons qui en dérivent.

En particulier, les propriétés spéciales des houilles à hautes teneurs en matières volatiles (plus de 26%), qui donnent sous l'action des différents types de distillation de fortes proportions de goudrons et des quantités relativement grandes de combustibles liquides (carburants), sont liées à la prédominance, dans les dépôts initiaux, d'une substance végétale apparentée aux corps gras : la cutine des exines de spores et des cuticules des feuilles des plantes houillères.

Ces recherches ont donc prouvé que tous les combustibles liquides naturels que l'on rencontre à l'état libre (Pétroles) ou que l'on peut extraire par distillation de certaines roches (houilles, Cannel-Coals, Bogheads, schistes bitumineux, etc...) dérivent de substances organiques animales ou végétales (substances grasses ou huileuses des animaux et des plantes, surtout microscopiques, qui constituent le plancton en ce qui concerne les pétroles et les bogheads ; substances cutinisées des exines de spores et des cuticules des feuilles en ce qui concerne les Cannel-Coals et certaines houilles) apparentées aux corps gras naturels, c'est-à-dire aux éthers des acides stéarique, oléique et margarique (acides gras à poids moléculaires élevés).

Au point de vue des houilles à coke, les recherches microscopiques ont montré que leur propriété particulière qui est de donner un coke dur, sonore et cohérent (coke métallurgique) est liée dans les combustibles du Nord de la France à une association intime d'un élément inerte anthraciteux (Fusain) et d'un élément à pouvoir agglutinant et à indice de gonflement élevés (ciment amorphe de ces houilles particulières). Ces deux éléments mélangés naturellement en proportions convenables dans les houilles en question jouent respectivement des rôles essentiels dans la cokéfaction, l'élément inerte empêchant par sa présence le gonflement exagéré du coke de ciment pur (houille brillante = Vitrain) qui est boursoufflé et fragile.

Enfin, la structure microscopique des charbons montre que les hypothèses de travail qui se trouvent à la base de toutes les études chimiques sur la structure et l'origine des houilles, et qui sont du reste d'accord avec les opinions antérieurement acceptées par la plupart des géologues et des paléobotanistes, doivent être modifiées puisqu'elles envisagent uniquement, soit une origine purement ligneuse (F. FISCHER), soit une origine cellulosique (MARCUSSON) des charbons soumis à l'expérimentation. Le fait que beaucoup de houilles, et en particulier toutes celles dont on peut espérer extraire un jour d'assez fortes proportions de combustibles liquides, dérivent presque exclusivement de l'accumulation de substance cutinisée (exines des spores et cuticules des feuilles) vient donc changer les données du problème à résoudre. Dans toutes les recherches chimiques ultérieures sur la composition et l'origine des houilles, ces résultats ne devront pas être perdus de vue, car ils montrent notamment que dans les houilles riches en matières volatiles aussi bien que dans les hydrocarbures libres (pétroles) la synthèse naturelle de tous les carburants a été réalisée à partir de corps gras d'origine végétale ou animale.

FIN DU VOLUME DE TEXTE (1)

---

(1) La suite de ce mémoire contient les 66 PLANCHES PHOTOTYPIQUES, l'INDEX BIBLIOGRAPHIQUE et les TABLES annexées au présent volume de texte.