

L'ORIGINE
ET
LE MODE DE FORMATION
DE
LA HOUILLE

Lecture faite dans les séances des 5 novembre et 10 décembre 1893
de la Section de Liège de l'Association des Ingénieurs,

PAR

Adolphe FIRKET

Ingénieur en chef-directeur des mines,
Chargé de cours à l'Université de Liège et Président de cette Section.

(Extrait de la *REVUE UNIVERSELLE DES MINES*, etc.,
tome XXVI, 3^e série, page 1, 38^e année, 1894.)



LIÈGE

40, rue Beckman, 40

PARIS

C. Borrani, 9, rue des Saints-Pères

L'ORIGINE
ET LE MODE DE FORMATION
DE LA HOUILLE

LIEGE. — IMPRIMERIE DESOER.

L'ORIGINE
ET
LE MODE DE FORMATION
DE
LA HOUILLE

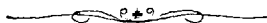
Lecture faite dans les séances des 5 novembre et 10 décembre 1893
de la Section de Liège de l'Association des Ingénieurs,

PAR

Adolphe FIRKET

Ingénieur en chef-directeur des mines,
Chargé de cours à l'Université de Liège et Président de cette Section.

(Extrait de la *REVUE UNIVERSELLE DES MINES*, etc.,
tome XXVI, 3^e série, page 1, 3^e année, 1894.)



LIEGE

40, rue Beckman, 40

PARIS

C. Borrani, 9. rue des Saints-Pères

L'ORIGINE
ET LE MODE DE FORMATION
DE LA HOUILLE

Lecture faite dans les séances des 5 novembre et 10 décembre 1893
de la Section de Liège de l'Association des Ingénieurs.

MESSIEURS,

La Section de Liège de notre Association a émis le vœu, dans sa séance du 5 décembre 1886, que le président nouvellement élu fasse, en prenant possession du fauteuil, une lecture sur un sujet scientifique ou technique.

J'aurais voulu satisfaire à ce vœu dès l'année dernière, lorsque j'ai eu l'honneur de vous présider pour la première fois ; mais j'ai dû vous demander alors un délai d'un an, que vous avez bien voulu m'accorder.

A l'exemple de mon prédécesseur, M. le professeur H. Dechamps, qui vous a présenté, le 16 novembre 1890, un travail important sur *l'emploi de l'acier dans la construction des ponts* (1), j'ai choisi un sujet rentrant dans les matières qui sont l'objet de mes études de prédilection, et je vous entretiendrai de *l'origine et du mode de formation de la houille*.

La question n'est certes pas neuve ; depuis longtemps elle avait même cessé d'être agitée, lorsqu'elle a été tirée de son assoupissement et remise à l'ordre du jour par des travaux fort intéressants, dont les plus anciens remontent à une quinzaine d'années et dont la série paraît loin d'être épuisée.

Ces travaux ont donné au sujet un regain d'actualité, qui m'a déterminé à lui donner la préférence.

Généralités et théories anciennes.

L'origine végétale de la houille n'est pas contestable et n'est plus guère contestée.

On s'accorde généralement à la considérer comme le résultat de l'accumulation de végétaux ou de débris de végétaux terrestres, aériens ou marécageux. Toutefois, il est possible que, dans quelques cas exceptionnels, des algues marines aient contribué à sa formation ; en outre, dans certains bog-heads et certains cannel-coals, dont l'origine n'est guère distincte de celle de la houille, existent, à côté de la matière végétale qui en forme la masse principale, des parties accessoires d'origine animale.

(1) *Revue universelle des Mines*, 3^e série, t. XII, 1890.

Je ne mentionnerai que pour mémoire une ancienne hypothèse suivant laquelle la houille aurait été émise par des volcans, à l'état de bitume minéral visqueux.

Bien qu'elle ait été reproduite assez récemment par M. Judycki, lequel a admis que ce bitume s'est dégagé, à l'état demi-fluide, par des failles pour se déposer ensuite dans les dépressions existantes, tandis que les schistes houillers proviendraient de boues volcaniques, cette hypothèse est en un tel désaccord avec les résultats d'une étude attentive des couches de houille et des roches qui les encaissent, qu'il n'y a pas lieu de s'y arrêter.

L'hypothèse d'un physicien, qui a imaginé qu'il tombait fréquemment de l'atmosphère, pendant l'époque houillère, des pluies de carbures hydriques gagnant les bas-fonds pour y former de la houille, mérite encore moins d'être discutée.

Toutefois, si les savants et les ingénieurs qui se sont sérieusement occupés de la géogénie de la houille, sont unanimes pour lui attribuer une origine essentiellement végétale, ils sont loin d'être d'accord sur le mode d'accumulation des végétaux et des débris de végétaux qui la forment.

Les plus exclusifs, ou bien admettent que la houille s'est formée sur place, ou bien y voient uniquement un dépôt de transport; cependant il est des auteurs qui, tout en considérant comme prépondérant l'un de ces deux modes de formation, accordent à l'autre une légère influence.

D'après M. G. de Saporta (1), c'est dans un mémoire

(1) G. DE SAPORTA : Appréciation du Mémoire sur la formation de la houille de M. C. Grand'Eury. (*Revue des Deux-Mondes*, 54^e volume, 1882, p. 657.)

du botaniste Antoine de Jussieu relatif aux empreintes végétales houillères de Saint-Chaumont, dans le Lyonnais, présenté en 1718 à l'Académie des sciences de Paris, que l'on trouve les premières notions tendant à établir l'origine végétale de la houille. Dans ces empreintes, de Jussieu reconnut notamment des fougères différentes de celles qu'il connaissait et qu'il supposa ou bien ne plus exister, ou bien provenir de pays éloignés dont la flore était inconnue alors. Il remarqua qu'elles sont couchées à plat entre des feuillets schisteux, comme entre les pages d'un herbier, et il admit leur transport par les eaux depuis leur lieu d'origine.

L'existence de fossiles végétaux au toit et au mur des couches de houille suffit ensuite pendant longtemps pour faire admettre, par la plupart des naturalistes, que ce combustible lui-même résulte d'une accumulation de végétaux; car la découverte de traces évidentes d'organisation végétale dans la houille est relativement récente.

Elle se prête peu, en général, à l'examen microscopique par transparence en lames minces. Sans parler de la difficulté d'obtenir de bonnes préparations avec une substance aussi friable, il semble que, le plus souvent, les parois des cellules végétales et des vaisseaux ont disparu, lors de la transformation en houille, pour ne laisser qu'une masse amorphe.

Cependant, soit par ce mode d'observation, soit par l'examen microscopique superficiel au moyen de la lumière réfléchie, souvent après traitement de la substance par l'acide nitrique concentré ou par un mélange de cet acide et de chlorate de potassium, Witham, J. W. Dawson, Bailey et J. Quekett en Angleterre ou en Amérique, Göppert, C. W. von Gümbel et P. F. Reinsch en Alle-

magne, B. Renault et C. Eug. Bertrand en France, ainsi que d'autres bons observateurs, sont parvenus à mettre en évidence l'existence de spores, de portions de vaisseaux ou même d'organismes végétaux plus complets, dans divers échantillons de bog-head, de cannel-coal, de houille et d'anhracite, en employant des grossissements compris le plus souvent entre 100 et 300 diamètres (1).

En ce qui concerne la houille, ce sont surtout des coupes minces dans la partie externe houillifiée de troncs de calamite, calamodendron, lepidodendron, etc. de l'étage houiller, troncs habituellement remplis intérieurement d'une matière gréseuse ou psammitique, qui ont permis de discerner une structure organisée bien conservée. L'origine végétale de cette espèce d'écorce houillifiée n'étant certes pas douteuse, sa ressemblance physique et chimique avec la houille proprement dite permet, au

(1) Voir principalement :

J. W. DAWSON : On the vegetable structures in coal. (*The quarterly Journal of the Geological Society of London*, t. XV, 1859.)

C. W. VON GUEMBEL : Beiträge zur Kenntniss der Texturverhältnisse der Mineralkohlen. (*Sitzungsberichte der math.-physik. Classe der Akademie der Wissenschaften zu München*, t. XIII, 1883.)

P. F. REINSCH : Micro-Palaeo-Phytologia Format. Carbonif. iconogr. et dispositio synoptica plantarum microscop. omnium in venis format. carbonif. hucusque cognit. Erlangen 1884.

C. EUG. BERTRAND et B. RENAULT : Caractères généraux des bog-heads à algues (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences de Paris*, t. CXVII, n° 18, 30 octobre 1893.) — Cette communication, qui a été précédée d'autres travaux des mêmes auteurs sur les bog-heads, énonce une série de conclusions à développer ultérieurement dans des mémoires spéciaux et résultant de l'étude du bog-head d'Autun, du kerosene shale d'Australie et de la torbanite d'Ecosse. Ces bog-heads sont formés en majeure partie d'algues gélatineuses d'eau douce; et, parmi les corps jaunes qu'ils renferment, il y en aurait d'origine animale,

surplus, d'étendre à celle-ci, les conséquences de l'organisation végétale plus complète que le microscope y a dévoilée.

A l'aide d'une forte loupe ou même à l'œil nu, divers observateurs, parmi lesquels je citerai MM. C. Grand'Eury et H. Fayol, ont pu reconnaître des traces évidentes de structure végétale à la surface de certaines lamelles de houille.

J'en possède deux variétés différentes où, grâce à une interposition schisteuse extrêmement mince entre les lames de houille, la structure végétale de celle-ci paraît bien évidente.

L'une est un charbon impur provenant d'une petite couche de la partie inférieure du bassin de Liège. Elle consiste en minces lamelles de houille, dont l'épaisseur ne dépasse pas un millimètre et reste souvent en dessous, séparées par des feuilletts schisteux très minces ayant conservé l'empreinte des végétaux qui ont contribué à la formation de ces lamelles, entre autres celle d'une tige de lepidodendron bien reconnaissable.

Mon autre échantillon provient d'une couche d'excellente qualité exploitée dans notre bassin. Il présente sur l'une de ses surfaces, parallèle aux petites strates du morceau, une belle empreinte de sigillariée qui appartient bien à la houille elle-même; car l'enduit schisteux, qui en a permis la conservation, est tellement mince qu'il est à peine apparent.

La variété de charbon que Haüy a nommée houille daloïde et que M. C. Grand'Eury désigne sous le nom de fusain, bien approprié à son aspect, est abondante d'ailleurs dans certaines couches de houille et son origine végétale n'est pas méconnaissable.

En voilà plus qu'il n'est nécessaire, je pense, pour que l'origine végétale de la houille soit admise sans réserve; et nous pouvons aborder l'examen des théories ayant cette origine comme point de départ.

Une cinquantaine d'années après le mémoire de A. de Jussieu, le baron d'Holbach, dans l'article *Charbon minéral* de l'*Encyclopédie de Diderot*, et Valmont de Bomare en 1769, dans son *Dictionnaire raisonné universel d'histoire naturelle*, expliquent la formation du charbon minéral, en y comprenant les lignites, par l'enfouissement de forêts d'arbres résineux.

En 1778, le grand naturaliste Buffon, dans ses *Époques de la nature*, attribua la formation de la houille à des végétaux terrestres transportés par les eaux.

Elle serait due, suivant lui, aux premiers végétaux que la terre ait portés. La plus grande partie de sa surface aurait été couverte alors d'eaux encore tièdes, à l'exception de quelques îles portant une végétation extrêmement abondante d'arbres et de plantes.

Ce sont les débris de cette végétation luxuriante qui, entraînés à la mer par des fleuves, y auraient produit les dépôts de matières végétales qui se sont transformés en houille. Buffon invoquait, à l'appui de son opinion, les arbres charriés par l'Amazone jusqu'à son embouchure et les grands radeaux de végétaux du Mississipi, bien que l'existence de fleuves d'une telle importance ne fût pas compatible avec la constitution insulaire de la surface du globe, qu'il imaginait.

On a objecté à cette théorie que de tels radeaux de bois et de plantes, contenant dans leurs interstices du sable et du limon, n'auraient pu donner qu'un combustible fort impur.

On a dit aussi que leur hauteur totale, par suite celle de leur partie immergée et la profondeur du cours d'eau où ils circulaient, auraient dû être énormes pour la formation des couches puissantes, si l'on tient compte de la réduction considérable amenée par la transformation en houille de tels radeaux. Toutefois, cette dernière objection n'a pas toute la valeur qui lui a été prêtée, parce que les couches puissantes sont, en général, formées de lits successifs de charbon, et que chacun de ceux-ci aurait pu provenir d'un radeau spécial dont la hauteur ne serait pas exagérée.

Une objection beaucoup plus sérieuse résulte de la régularité des couches des grands bassins houillers, par exemple de celui qui s'étend, presque sans interruption, de la Westphalie jusque dans le Sud du Pays de Galles, en passant par la Belgique et le Nord de la France, régularité qui ne peut se concevoir dans l'hypothèse de Buffon.

Vivement combattue, la théorie du transport, telle qu'elle avait été conçue d'abord, ne pouvait subsister longtemps et il survint dans les esprits un revirement complet. Tandis que Blumenbach et Schlotheim, au commencement du siècle, Sternberg et Adolphe Brongniart, en 1820, donnaient un essor remarquable à la paléophytologie houillère, on abandonna complètement la théorie du transport pour ne plus voir, dans la houille, que le produit de végétaux décomposés à l'endroit où ils avaient vécu.

Adolphe Brongniart, en 1837, dans ses *Considérations sur la nature des végétaux qui ont couvert la surface de la terre aux diverses époques de sa formation*, attribuait l'origine de la houille à des masses de végétaux accu-

mulés, puis altérés et modifiés, « comme le seraient les » couches de tourbe de nos marais, si elles étaient recou- » vertes et comprimées par des bancs de substances » minérales » (1).

Depuis lors et bien qu'à la session de l'Association britannique pour l'avancement des sciences tenue à Manchester en juin 1842 (2), Williamson ait présenté un mémoire tendant à prouver que la houille a été formée par le transport de matières végétales dans la mer, et non par l'accroissement de ces végétaux sur le sol que recouvrent les dépôts houillers; bien que, dans la même session, de la Bêche ait appuyé cette manière de voir, tandis que Sedgwick, Philips et Binney l'admettaient dans des cas exceptionnels et restreints il est vrai, la théorie de la formation de la houille sur place a régné, pour ainsi dire sans partage, pendant près de quarante années.

C'est seulement depuis que M. C. Grand'Eury a affirmé, en 1877, que la houille du bassin de la Loire renferme des résidus végétaux posés à plat (3) et que M. H. Fayol a avancé, en 1881, que tous les matériaux constituant le terrain houiller de Commentry ont été charriés par les eaux et déposés dans un lac profond, pendant une période géologique tranquille (4), que cette théorie a été remise en discussion.

(1) Voir l'article déjà cité de M. DE SAPORTA. (*Revue des Deux-Mondes*, 1882, p. 673.)

(2) *Annales des sciences géologiques*, t. I, 1842, pp. 692 et 882.

(3) C. GRAND'EURY : Mémoire sur la flore carbonifère du département de la Loire et du Centre de la France, étudiée aux trois points de vue botanique, stratigraphique et géognostique. (*Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des sciences de l'Institut de France*, t. XXIV, 1877.)

(4) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences de Paris*, 1881.

Formation de la houille sur place.

La formation de la houille sur place a encore ses partisans et, avant de parler des remarquables travaux de MM. C. Grand'Eury et H. Fayol, ainsi que d'une ingénieuse hypothèse développée en 1885 par M. L. Breton, je signalerai la forme moderne que M. Alph. Briart a donnée à cette théorie, dans le discours qu'il a prononcé, le 17 décembre 1889, à la séance publique de la classe des sciences de l'Académie royale de Belgique (1).

Auparavant, faisons remarquer que le mode de formation admis par M. Briart est souvent désigné sous le nom de *tourbage*; parce que certains auteurs ont cru que des végétaux analogues à ceux qui forment actuellement la tourbe, où prédominent des mousses du genre *Sphagnum*, ont joué un grand rôle dans la formation de la houille; et que, d'autre part, le nom de tourbe est habituellement étendu aujourd'hui à des accumulations végétales formées de plantes semi-aquatiques, de troncs et autres débris d'arbres, quoique de telles accumulations, propres aux marais boisés et aux forêts marécageuses, ne puissent être assimilés à la tourbe proprement dite.

Au surplus, M. Briart déclare, avec raison, que le tourbage, pris dans un sens absolu, ne peut être admis pour la houille :

Les tourbières de l'époque houillère, dit-il, devaient avoir un facies tout différent des nôtres. Il ne s'agit plus de nos sphaignes ou de plantes analogues se convertissant en tourbe par le pied à mesure de

(1) A. BRIART : La formation houillère. (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 3^e série, t. XVIII, p. 815.)

leur croissance, mais d'une végétation presque entièrement arborescente dont les tiges parfois fort élevées, bien que de croissance très rapide, étaient par conséquent très fragiles. Les feuilles, les branches et les tiges elles mêmes, abattues par une vétusté précoce ou par les vents, tombaient dans le marécage où elles avaient pris pied; mais elles ne s'écartaient pas plus de leur lieu d'origine que les feuilles des arbres de nos forêts dispersées autour d'eux par les vents d'automne. Cette immense quantité de débris recouvrait bientôt toute l'étendue des marécages eux mêmes, s'y conservant à la façon des végétaux de nos tourbières. Relativement à ces dernières, il y a donc eu transport, mais transport bien court, que j'appellerais volontiers *transport intérieur*, par opposition aux transports des autres théories qui sont toujours supposés se faire de l'extérieur.

Je n'ai pas l'intention d'analyser l'excellent discours de M. Briart, dont la lecture est aussi instructive qu'attrayante.

Je me bornerai à en donner encore quelques extraits, afin de ne pas modifier involontairement la pensée de l'auteur.

Voici le tableau qu'il présente de la plaine houillère en voie de formation dans notre pays :

Représentons nous cette plaine basse, immense, comme une jungle de l'Inde ou une steppe de la mer Caspienne, s'étendant à perte de vue dans le sens de l'Est et de l'Ouest, et s'arrêtant, vers le Sud, aux montagnes bleues qui bornent l'horizon de ce côté et qui sont les premiers soulèvements des Ardennes. Depuis l'époque déjà lointaine de ces soulèvements, la contrée n'a pas cessé de s'affaisser et la mer a commencé le comblement de l'immense dépression qui en était résultée. Les bassins secondaires se sont remplis dès l'époque dévonienne, puis est venue l'époque carbonifère qui a complété l'horizontalité des dépôts. Les premières assises sédimentaires de l'époque des houilles se sont déposées à leur tour et la mer s'est retirée vers le Nord. Elle y a formé un cordon littoral et élevé de faibles dunes, ceinture protectrice qui a, de ce côté, fermé l'accès de la plaine. Par le jeu des marées, elle y a fait longtemps refluer les cours d'eau qui y apportaient leurs dépôts limoneux. Le niveau s'est élevé de plus en plus et tout y est admirablement préparé pour la formation qui va venir.

Au régime purement marin a succédé un régime d'eaux saumâtres, et bientôt celui-ci a été remplacé par un régime entièrement d'eau douce. Les eaux limoneuses se sont peu à peu détournées et il ne reste sur la vaste plaine qu'une eau peu profonde dans laquelle n'arrivent plus les sédiments terreux.

Bientôt une abondante végétation vient s'y implanter et elle se trouve transformée en une forêt immense. Des cours d'eau, maintenant au-dessus du balancement des marées, y décrivent leurs méandres aux cours changeants, paisibles et tranquilles, et quelques rares éclaircies, se montrant par intervalles, concourent à en varier l'aspect. Tout le reste n'est qu'une forêt sans fin.

Si nous y pénétrons, nous voyons que l'eau, d'une limpidité extrême, nous laisse facilement apercevoir le fond tourbeux où viennent s'implanter une multitude de troncs de toutes natures, qui, s'élevant dans les airs, y étalent leurs feuillages des plus variés et des plus étonnants.

L'auteur donne ensuite une description concise de la flore houillère et continue comme suit :

Tous ces végétaux si étranges et que de nouvelles recherches tendent à rendre plus étranges encore, nous les voyons croître et se mélanger dans des proportions très diverses, selon les conditions d'existence, la nature du fond et la profondeur de l'eau. Aussi loin que notre vue peut s'étendre, nous voyons se prolonger le même paysage et, au-dessus de tout, une atmosphère tranquille et saturée d'humidité, un soleil versant sur cette luxuriante végétation une lumière à peine tamisée par les brumes opalines des pays chauds.

La température uniforme qui règne sur le globe entier, exclut les troubles atmosphériques violents auxquels tous ces végétaux à croissance rapide ne pourraient résister. Nous les voyons, au contraire, se maintenir dans une atmosphère tranquille et, par le seul effet de la vétusté, se dépouiller de leurs feuilles à mesure qu'ils s'élèvent dans les airs. Les frondes des fougères s'affaissent successivement dans le marécage, les feuilles des sigillaires, des lepidodendrons, des cordaïtes tombent à leur tour. Les branches et les troncs fléchissent et s'empiètent les uns sur les autres. Bientôt le ligneux disparaît et il ne reste que les feuilles et les écorces dans cette vaste accumulation de débris. Quelques branches mortes seulement conservent ce ligneux ; elles se détachent en menus fragments et se réunissent en petits lits qui seront plus tard la houille dalloïde. Tous trouvent dans l'eau les mêmes éléments de conservation, chaque génération végétale tombée faisant

place à une génération nouvelle qui prend directement racine dans les débris déjà accumulés.

Enfin, après avoir tracé un rapide tableau de la faune si restreinte de l'époque houillère, M. Briart achève d'exposer, dans les termes suivants, la façon dont il conçoit la formation de la houille sur place :

Mais la plaine houillère ne doit pas conserver indéfiniment l'aspect forestier que je viens de décrire. L'affaissement général de la contrée continue ; il s'accroît même à un moment donné et modifie brusquement le régime des eaux. Les ruissellements plus rapides entaillent plus profondément les terres émergées et, se répandant au milieu de la forêt houillère, y transforment les eaux limpides en eaux boueuses et sédimentaires. De son côté, la mer y revient, d'abord par les embouchures des rivières, puis, franchissant les faibles barrières que lui opposent les dunes affaissées, en refoule les débris dans la plaine. Les sables et les argiles se déposent, tantôt en eaux douces, tantôt en eaux salées, nous offrant ainsi le type le plus saisissant d'une *formation poldérienne*. La végétation disparaît ; des tiges isolées ou réunies en massifs plus ou moins serrés élèvent encore leurs cimes au-dessus des eaux, parsemant de leurs débris les assises sédimentaires qui s'accumulent à leurs pieds.

Cet état de choses continue jusqu'à ce que ces sédiments, après un temps plus ou moins long, finissent à leur tour par combler le *Polder*. Alors les ruissellements redeviennent moins rapides et de nouvelles dunes restreignent de nouveau l'empire de l'Océan. L'eau, moins profonde, redevient limpide, la végétation reprend possession du domaine dont elle avait été momentanément dépossédée, et une seconde couche de houille commence à se former.

Pour le moment, bornons-nous à faire remarquer que cette théorie de la formation de la houille sur place, suppose des affaissements successifs du sol dont la somme des amplitudes est au moins égale à la puissance totale actuelle de l'étage houiller ; car, depuis la formation de celui-ci, sa surface a dû subir des dénudations qui ont eu probablement une assez grande importance, bien qu'il ne nous soit pas possible de l'évaluer exactement. Il ne nous est guère

permis que d'estimer l'épaisseur, mesurée perpendiculairement aux strates, que cet étage a conservée, en faisant remarquer qu'elle n'est que l'expression minima des affaissements requis par cette théorie, qui admet des formations primitivement horizontales ou à peu près horizontales.

Si, d'après les cartes et les coupes du service de la carte minière de Belgique publiées pour les bassins de Liège, de Charleroi et de Mons, on détermine, pour les parties les plus profondes de ces trois bassins, la puissance maxima de l'étage houiller comprise entre la surface ou la base du mort-terrain, le cas échéant, et le calcaire carbonifère, on trouve respectivement 1520, 1630 et 2500 mètres, en tenant compte d'une modification qu'il convient d'apporter aux coupes du bassin de Charleroi. Toutefois, l'ampélite alunifère dans la province de Liège, l'assise des phtanites dans le Hainaut, sont des sédiments marins qu'il convient de retrancher d'abord, ce qui réduit les précédentes données à environ 1505, 1560 et 2400 mètres. Remarquons, en outre, que si, dans les coupes du bassin de Liège, la dernière veinette de houille connue est figurée à une quinzaine de mètres seulement de l'ampélite, dans celles des bassins de Charleroi et de Mons, la couche *Léopold* d'un côté, la couche *Renard* inférieure à la couche *Grand-Bouillon* ou *Grand-Renom* de l'autre, sont respectivement à 380 et 600 mètres de l'assise des phtanites.

Il est vraisemblable que, sur des épaisseurs aussi considérables de roches houillères, existent des couches, ou du moins des veinettes de houille, que l'on découvrira plus tard. Néanmoins, en retranchant aussi de la puissance de l'étage houiller celles des strates comprises entre l'ampélite ou les phtanites et la couche inférieure reconnue

de part et d'autre, on arrive encore à 1490 mètres pour Liège, 1180 mètres pour Charleroi et 1800 mètres pour Mons (1). Tels seraient donc les affaissements minima, depuis la formation de la couche de houille la plus ancienne connue, que comporte l'application à l'étage houiller belge de la théorie exposée par M. Briart.

L'importance de ces affaissements est un des griefs articulés, en 1892, par M. A. de Lapparent contre cette théorie, laquelle ne les restreint pas à la région où se formait la houille (2).

Bien que n'estimant qu'à 1200 mètres, approximativement, la puissance du terrain houiller de Mons, ce géologue n'admet pas qu'un tel affaissement ait pu se produire, parce qu'il aurait fait disparaître sous les eaux de la mer la plus grande partie de l'Europe.

Le même reproche peut, d'ailleurs, être adressé à toutes les théories de la formation sur place, par exemple à l'ancienne hypothèse d'Elie de Beaumont, qui supposait l'existence d'îles couvertes d'une riche végétation, s'enfonçant dans la mer, se recouvrant de limon, émergeant

(1) M. G. ARNOULD, dans son *Mémoire historique et descriptif sur le bassin houiller du couchant de Mons* (Mons, H. Manceaux, 1877, p. 152), estime même à 2160 mètres l'épaisseur comprise, vers la méridienne passant par le clocher de Pâturages, entre la première couche alors connue au Grand-Hornu et la dernière couche exploitée au Grand-Bouillon sur Pâturages.

Par contre, MM. F. L. CORNET et A. BRIART n'ont évalué la puissance maxima des strates houillères du bassin de Mons qu'à 2100 mètres, c'est-à-dire à 400 mètres de moins que l'évaluation résultant des tracés publiés de la carte minière. — Sur le relief du sol en Belgique après les temps paléozoïques. (*Annales Soc. géol. de Belgique*, t. IV, 1877, p. 71)

(2) A. DE LAPPARENT : L'origine de la houille. (*Revue des questions scientifiques*, juillet 1892.)

ensuite pour produire de nouveau une active végétation, et ainsi de suite.

Il s'applique aussi jusqu'à un certain point à la théorie récente de M. Grand'Eury, quoiqu'elle ne doive pas être rangée dans cette catégorie d'hypothèses, le transport y jouant un rôle prépondérant. Au surplus, nous verrons plus loin comment ce reproche peut être éliminé.

Théorie de M. L. Breton.

Avant d'examiner la théorie de M. C. Grand'Eury, et celle de M. H. Fayol où le transport seul est invoqué, il convient de dire quelques mots de la théorie émise en 1885 par M. L. Breton (1), ingénieur distingué, bien connu par ses publications sur le terrain houiller du Pas-de-Calais (2).

En effet, tout en étant postérieure à celles de M. Grand'Eury et de M. Fayol, la théorie de M. Breton accorde au tourbage, pris dans le sens étendu que nous avons indiqué, un rôle important. Elle se caractérise, comme celle de M. Fayol, par ce qu'elle ne requiert pas l'intervention d'affaissements successifs du sol; et, en outre, par l'origine éolienne des matières terreuses entrant dans la constitution du mur et des intercalations schisteuses des couches de houille, matières terreuses qui proviendraient de poussières terrestres apportées par les vents.

(1) L. BRETON : Étude sur le mode de formation de la houille du bassin franco-belge (théorie nouvelle). — Paris, F. Savy, 1885.

(2) L. BRETON : Etude géologique du terrain houiller de Dourges, 1872. — Etude stratigraphique du terrain houiller d'Auchy au-Bois et Théorie sur le prolongement au Sud de la zone houillère du Pas-de-Calais, 1876.

M. Breton a eu particulièrement en vue la formation du grand bassin houiller franco-belge. Il admet qu'après le dépôt du calcaire carbonifère, formation marine, il s'est produit dans celui-ci une profonde cuvette de forme allongée, dépassant en longueur la distance du détroit du Pas-de-Calais à la Prusse rhénane et, en largeur, celle que présente actuellement le bassin houiller franco-belge.

Au Nord et au Sud de cette immense cuvette, s'élevaient les versants arides et dénudés de collines, en grande partie formées de roches siluriennes et dévoniennes. Aucune végétation ne protégeait ces versants et ils étaient aisément ravinés par les eaux pluviales, qui en entraînaient les débris, le plus souvent à l'état de limon argileux ou sableux, dans le lac, où elles se déversaient suivant sa périphérie.

Au début, le fond de cette profonde dépression contenait des eaux salées, qui permirent aux animaux marins de l'ampélite et des pthanites de subsister pendant quelque temps ; mais bientôt ils furent ensevelis dans les premiers sédiments provenant de la dénudation des collines. Le sel marin fut inclus, en partie, dans ces roches en voie de formation, en partie dans celles qui les ont suivies ; quant aux eaux du lac, après avoir passé par l'état d'eaux saumâtres dans les parties profondes, elles finirent, grâce aux apports des eaux douces ruisselant sur les versants, par remplir complètement la vaste dépression comprise entre ceux-ci, en devenant propres, à leur surface, au développement d'une végétation flottante de *Stigmaria*.

Les *Stigmaria* sont ces espèces de rhizomes si abondants au mur d'un grand nombre de couches de houille, que beaucoup de paléontologistes ont admis être des racines

de *Sigillaria* ou de *Lepidodendron* ; mais dont les fonctions sont encore peu connues, malgré les belles études anatomiques de M. B. Renault (1). Les travaux de ce savant, qui appartient au Muséum d'histoire naturelle de Paris, les montrent comme des rhizomes flottants, à structure de plantes aquatiques, donnant ensemble ou séparément des feuilles et des racines, sous forme d'appendices tubuleux.

M. Breton les considère comme des végétaux aquatiques complets et indépendants, d'une croissance très rapide, dont les branches, munies de feuilles minces et de radicules, s'étendaient dans toutes les directions, en formant sous la surface de l'eau un lacis inextricable occupant toute l'étendue du lac, à l'exception de ses parties périphériques par lesquelles affluaient les sédiments.

C'est alors qu'interviennent les poussières terrestres arrachées par les vents aux versants de la vallée, dans l'intervalle des fortes pluies intermittentes qui les dénudaient.

Les poussières tombées sur le lac étaient en grande partie arrêtées par le réseau des *Stigmaria* ; elles se logeaient dans ses interstices, augmentaient le poids de l'île flottante qui s'enfonçait légèrement, et finissaient par la recouvrir d'un véritable lit de boue propre à servir de base à la végétation aérienne qui, comme dans la théorie de la formation sur place, devait produire la houille proprement dite par l'intermédiaire de la transformation désignée sous le nom générique de tourbage.

Quant à la formation des havages et des schistes intercalés dans les couches de houille, M. Breton l'explique

(1) B. RENAULT : Étude sur les *Stigmaria*. (*Annales des sciences géologiques*, t. XII.)

aussi par l'apport de poussières terrestres, à un moment où la partie inférieure de la tourbière flottante, encombrée de végétaux renversés en voie de décomposition, ne permettait plus à ces poussières de la traverser.

Le vent, une vétusté précoce, renversaient aussi la plupart des tiges de la partie supérieure de l'île flottante ; un nouvel apport de poussières ou bien la macération et la compression de la masse en augmentaient la densité moyenne ; et lorsque celle-ci dépassait la densité de l'eau, la tourbière qui n'avait jusque là éprouvé que les faibles mouvements d'une descente progressive, s'immergeait complètement et descendait lentement jusqu'au fond du lac, sur lequel elle s'étendait et dont elle épousait la forme.

En chemin, elle abandonnait des portions de végétaux qui, s'élevant à la surface, y ramenaient des spores donnant naissance à une végétation nouvelle pour la formation d'une seconde couche de houille, ou bien, après macération, ces végétaux redescendaient en partie pour s'étaler dans le toit de la première couche déjà formée. En traversant l'eau trouble du lac pendant sa descente, la base à *Stigmaria* de cette première couche avait d'ailleurs entraîné, comme un filtre, les particules solides en suspension, pour les faire contribuer à la formation du mur de la couche.

D'autre part, les roches du toit de celle-ci se seraient formées, pendant que la couche suivante se préparait à la surface du lac, grâce aux sédiments limoneux ou sableux amenés jusqu'à ses bords par l'action dénudante des eaux pluviales sur les versants de la vallée houillère, ainsi qu'il a été dit déjà.

Ne pouvant suivre M. Breton dans tous les développements qu'il a donnés à son ingénieuse théorie, je

me bornerai à en signaler quelques-uns. Par exemple, il assigne comme origine aux redoublements de couche, par recouvrement et faille locale, une déchirure dans la couche descendante, avec superposition par mouvement latéral et léger retard d'une des parties sur l'autre. Il explique les étrointes suivies de renflements par le détachement, pendant le même mouvement de descente, d'une portion de la partie supérieure de la couche dont le mur restait continu; cette portion détachée éprouvait un retard et une déviation par suite de laquelle elle se déposait, non dans la cavité correspondante qui se remplissait des sédiments du toit en constituant une étrointe, mais à côté en donnant un renflement de la couche de houille.

Quant aux troncs d'arbres debout, que l'on rencontre dans les roches qui séparent les couches de houille, M. Breton admet que, après désorganisation de leur intérieur et remplacement de celui-ci par la boue provenant des poussières tombées sur l'île flottante, ils ont traversé la base de celle-ci et sont tombés verticalement jusqu'au fond du lac, où ils ont été entourés des sédiments en voie de dépôt pour constituer les roches stériles comprises entre la couche inférieure, déjà formée, et la couche supérieure en formation.

M. Breton invoque à l'appui de sa théorie les nombreuses îles flottantes couvertes de végétation, que signalent d'anciennes publications, plutôt historiques que scientifiques, des XVI^e, XVII^e et XVIII^e siècles dans des marais aux environs de Saint-Omer, îles dont les dernières se seraient fixées au commencement de notre siècle, par adhérence au fond ou aux berges de ces marais.

Toutefois, M. C. Grand'Eury me semble avoir démontré,

comme nous le verrons plus loin, que les matériaux constituant la houille ont subi un certain transport latéral, dont les effets n'ont pu être produits par le transport vertical imaginé par M. Breton.

En outre, la théorie de celui-ci ne rend pas compte de la séparation si nette qui se présente habituellement, dans le bassin franco-belge, entre une couche de houille et son toit. Elle n'explique pas suffisamment, non plus, la séparation qui existe entre la couche et son mur; et ce dernier reproche peut, évidemment, être adressé aussi aux théories qui admettent la formation sur place de la houille.

Théorie de M. C. Grand'Eury.

J'ai déjà cité, à plusieurs reprises, M. C. Grand'Eury, l'éminent ingénieur qui, après avoir consacré la première partie de sa carrière à l'étude pratique du terrain houiller du bassin de la Loire, où il dirigeait des travaux d'exploitation, est aujourd'hui professeur à l'École des mines de Saint-Etienne et membre correspondant de l'Institut de France.

Son mémoire sur la flore carbonifère du département de la Loire et du Centre de la France, publié en 1877 par cet Institut sous les auspices de Ad. Brongniart (1), est le fruit de longues et judicieuses recherches, poursuivies pendant plus de dix ans dans les travaux souterrains, et d'un immense labeur dont témoignent l'étendue et les nombreuses planches de ce gigantesque travail.

Je n'ai pas la compétence nécessaire pour l'apprécier au point de vue botanique; mais, sous ce rapport, j'invo-

(1) Voir *ante*, p. 9.

querai l'autorité de M. G. de Saporta, qui en a donné un compte-rendu quelque temps après sa publication (1).

Ce savant botaniste en fait le plus grand éloge; il signale notamment les découvertes incontestables de M. Grand'Eury sur l'appareil fructificateur d'une famille importante de fougères houillères, les *Pécoptéridées*, et sur la nature gymnospermique et les affinités des *Cordaites*, arbres gigantesques ayant joué, surtout dans le houiller supérieur, un rôle important presque méconnu avant les recherches de M. Grand'Eury.

Dans le mémoire dont il s'agit, cet ingénieur s'est occupé aussi de la géogénie de la houille et de la formation des bassins houillers; mais, avant de donner un bref aperçu de ses idées à ce sujet, il convient de signaler, par ordre chronologique, les autres publications où il l'a traité d'une manière spéciale ou incidente, c'est-à-dire son important mémoire de 1882 sur la formation de la houille (2), celui qu'il a publié en 1887 dans les *Mémoires de la Société géologique de France* (3) et enfin son mémoire de 1890 sur le bassin houiller du Gard (4).

M. Grand'Eury est, avant tout, un observateur de premier ordre, un travailleur infatigable, qui a montré jusqu'ici

(1) G. DE SAPORTA : Sur la flore carbonifère du département de la Loire et du Centre de la France. (*Bull. de la Soc. géol. de France*, t. V, 1877, p. 365.)

(2) C. GRAND'EURY : Mémoire sur la formation de la houille. (*Annales des mines*, 1882.)

(3) IDEM : Formation des couches de houille et du terrain houiller (Géogénie). (*Mémoires de la Société géologique de France*, 3^e série, t. IV, 1887.)

(4) IDEM : Géologie et paléontologie du bassin houiller du Gard. — Saint-Étienne, Théollier et C^e, 1890.

une assez grande réserve dans l'exposé des idées théoriques que ses recherches lui ont inspirées. Depuis sa dernière publication, il a fait de nombreux voyages en Russie, en Autriche-Hongrie, en Espagne, etc., et a réuni de nouveaux documents, qu'il n'a pas encore eu le loisir de mettre en valeur; mais, dès 1877, il a commencé à jalonner la route qui conduira vraisemblablement à la meilleure théorie possible de la formation houillère; et, si ce but est atteint, je pense qu'il sera dû surtout aux faits qu'il a mis en lumière et à la continuation de ses efforts dans la même voie.

Indiquons brièvement les principaux de ces faits, tout en donnant les conclusions que M. Grand'Eury en a déduites jusqu'ici.

Les couches de houille exploitées présentent souvent des intercalations schisteuses dont l'origine sédimentaire n'est pas douteuse; il existe, en outre, des houilles impures formées de minces alternances de schiste et de charbon. On peut en conclure que la houille est une roche sédimentaire, au même titre que le schiste qui l'accompagne.

La houille est formée, d'une part, de lames et lamelles parallèles, à cassure brillante, qui sont généralement des écorces vides et aplaties et des feuilles; d'autre part, d'une matière charbonneuse, amorphe, plus terne, provenant d'une décomposition très avancée de parties végétales, qui a donné des substances ulmiques contenant encore quelques détritux végétaux reconnaissables, ainsi que des spores. La proportion relative de la houille organisée et de la houille amorphe varie avec la provenance de l'échantillon. L'une ou l'autre peut l'emporter; mais la dernière domine dans la plupart des houilles. Il arrive même que la houille amorphe forme la majeure partie de

la masse, qui n'est stratifiée alors que par des membranes épidermiques, quelques feuilles et de rares écorces ; c'est ce que M. Grand'Eury nomme houille à téguments. Lorsque la houille amorphe renferme de menus détritits abondants, il l'appelle houille de parcelles et bouillie végétales.

On trouve, pour ainsi dire invariablement, tous les végétaux du terrain houiller à l'état de parties isolées et dispersées : les tiges rompues sont souvent séparées des racines, les organes appendiculaires en sont détachés. On n'y rencontre pas d'arbres plus ou moins complets, comme dans les marais actuels, ou comme ceux que les fleuves transportent et déposent à leur embouchure.

Les écorces qui, abstraction faite des frondes de fougères et des graines, sont les parties les mieux conservées comme étant les plus denses et les plus résistantes, ont néanmoins, le plus souvent, leurs différentes couches disjointes et déposées à distance les unes des autres ; les graines n'ont guère conservé que leur enveloppe.

Les tiges, qu'elles fussent creuses, remplies de moelle ou réellement ligneuses, comme celles des Cordaïtes, ont éprouvé habituellement une désorganisation interne presque complète, qui les a réduites à une mince enveloppe corticale, ultérieurement convertie en houille.

Les produits de cette désorganisation interne des tiges ont concouru à la formation de la houille de deux manières différentes : les uns, mélangés avec ceux de la désagrégation d'autres tissus, ont donné cette bouillie, cette espèce de purée végétale, qui a formé la houille amorphe ; les autres, particulièrement dus à des tissus ligneux qu'une forte dessiccation aurait, avant leur enfouissement, fragmentés et rendus inaptes à subir la

transformation en houille des autres débris végétaux, ont fourni le fusain ou houille daloïde, que l'on rencontre dans les couches et qui a aussi contribué à leur formation.

Des faits exposés jusqu'ici, M. Grand'Eury conclut que la houille est une formation sédimentaire résultant du dépôt lent et tranquille, par les eaux, d'écorces, de feuilles et de téguments avec les produits ulmiques semi-liquides de la décomposition végétale, ceux-ci pouvant être accompagnés de parcelles ou de débris végétaux.

Dans les stamperies qui séparent les couches de houille, on rencontre parfois des portions assez importantes de troncs debout, c'est-à-dire perpendiculaires aux strates, munis de racines. Plus souvent, on y trouve des souches enracinées provenant d'arbres dont la tige a été rompue plus ou moins près de sa base, mais dont les racines et les radicules sont restées complètes. Ces souches enracinées, formant un ensemble qui s'évase vers le bas, sont parfois immédiatement superposées aux couches de houille en exploitation, dont elles ne sont séparées que par quelques minces feuilletts schisteux. Elles ont reçu alors du mineur le nom caractéristique de *cloches* et leur chute inopinée peut occasionner des accidents bien connus.

Alors que M. H. Fayol considère, comme ayant été transportés, tous les végétaux et débris de végétaux du terrain houiller, M. Grand'Eury est d'avis, avec raison suivant nous, que les troncs debout avec racines et les souches qui en sont munies, ont vécu, en général, à l'endroit où on les trouve.

Il en a donné une preuve péremptoire en signalant une tige ligneuse remarquable présentant plusieurs étages de grosses racines, qui s'expliquent par un envasement progressif du végétal pendant son développement.

Il est rare qu'un tronc debout traverse une couche de houille; M. Grand'Eury, dans son Mémoire de 1883, déclare ne connaître qu'un ou deux exemples de tiges de calamodendron traversant une petite couche de houille schisteuse. Cela n'est évidemment pas favorable à la théorie de la formation sur place.

Quant aux *Stigmaria* qui, indépendamment de leur abondance au mur de certaines couches de houille, ont joué un rôle important dans la constitution même des charbons de la Haute-Silésie, M. Grand'Eury les considère comme des plantes aquatiques incapables de se soutenir dans l'air. Lorsqu'elles sont un élément important de la formation de la houille elle-même, elles auraient vécu flottant dans des eaux assez profondes, en traçant simplement par leurs extrémités la vase du fond; et elles auraient subi des déplacements ultérieurs, tout en n'ayant pas contribué seules à la formation de la couche de houille. D'autre part, il admet que, dans les endroits où la nappe d'eau n'avait qu'une faible épaisseur, les *Stigmaria* ont pu s'enraciner plus profondément et se compléter par l'émission de tiges de *Sigillaria*.

Quoi qu'il en soit de la dualité des fonctions de ces êtres encore assez énigmatiques, les *Stigmaria* du mur aussi bien que les souches et les racines d'autres végétaux qui s'y rencontrent, sont, en général, coupées net par la couche de houille; et l'intérieur des unes et des autres a été rempli de limon argileux, avant le dépôt des matières végétales qui ont constitué la couche.

On peut donc admettre que ces matières se sont déposées dans un bassin dont le fond avait été arasé complètement avant leur dépôt, à part quelques troncs extrêmement rares qui, exceptionnellement, n'auront été rompus qu'à

quelque distance au-dessus du mur de la couche de combustible qui s'est déposée ensuite.

Après ces préliminaires, je puis donner un aperçu de la théorie géogénique de M. Grand'Eury.

A l'époque houillère existaient de vastes bassins de dépôt remplis d'eau douce, dont la profondeur n'était pas trop grande, du moins en certains points et à certains moments, pour que des végétaux à tiges aériennes puissent s'y enraciner au fond. Ces végétaux étaient d'ailleurs adaptés aux stations humides et pouvaient vivre tout en ayant la tige baignée dans une couche d'eau épaisse de plusieurs mètres. M. Grand'Eury pense même que des calamites pouvaient prendre tout leur développement sous l'eau.

Nous retrouvons aujourd'hui, en place, des troncs ou des fragments de troncs d'arbres debout et des souches enracinées ; les *Stigmaria* des murs sont également en place. Les autres organes de ces végétaux *in situ*, comme aussi les *Stigmaria* flottantes de certaines régions, n'ont pu fournir, surtout en ce qui concerne les premiers souvent peu abondants et parfois très rares, qu'une partie insignifiante de la matière végétale qui a produit la houille.

Cette matière provient surtout de forêts marécageuses situées en dehors des aires de dépôt.

Sous l'influence d'une température élevée, comparable à celle de la zone torride et presque constante, sous l'action d'une humidité excessive et d'une lumière active, quoique tempérée par une atmosphère saturée de vapeur d'eau, la croissance des plantes houillères avait une extrême rapidité qu'atteste la texture lâche de la plupart des tiges, dont toute la force de résistance résidait dans l'écorce. Beaucoup de ces plantes se propageant par rhizomes, elles devaient aussi se répandre avec une rapidité prodigieuse,

Mais, si les plantes houillères poussaient avec une vigueur dont la nature actuelle n'offre guère d'exemple, la décrépitude et la mort du végétal arrivaient rapidement aussi et les circonstances qui avaient favorisé sa croissance, favorisaient aussi sa décomposition. Les organes appendiculaires des tiges et les tiges elles-mêmes tombaient sur le sol plus ou moins couvert d'eau. A l'exception du ligneux de quelques espèces végétales, partiellement transformé en fusain, comme il a été dit, l'intérieur des tiges, fractionnées, subissait une altération profonde à laquelle les écorces et certaines feuilles résistaient jusqu'à un certain point. Si la partie émergée de ces débris était restée longtemps soumise à l'action de l'air chaud et humide, une oxydation lente aurait tendu à la détruire; mais les eaux pluviales balayaient ces débris dans des marécages, précédant les bassins de dépôt; et, avant d'arriver dans ceux-ci, ils subissaient, sous l'eau, une macération qui provoquait la formation de produits ulmiques et d'une bouillie végétale contenant, en suspension, les écorces, les fragments de feuilles et les autres débris végétaux qui sont encore discernables, parce qu'ils ont subi une altération moins profonde.

L'exposé qui précède, correspond surtout aux idées exprimées par M. Grand'Eury dans son mémoire de 1882. Dans ceux qu'il a publiés en 1887 et en 1890, il n'y a apporté qu'une légère modification, en admettant le dépôt de la houille au fond de grands lacs marécageux, sans recourir à l'intermédiaire de marécages spéciaux entre les forêts houillères, marécageuses elles-mêmes, et les bassins de dépôt.

Je n'en dirai pas davantage, en ce qui concerne la formation des couches de houille proprement dites dans cette

théorie ; mais il convient, avant de parler de l'origine des roches encaissantes, de faire remarquer que la présence de souches et de tiges debout, enracinées dans ces strates à différents niveaux, prouve que tout l'ensemble n'a pu continuer à s'accroître en hauteur que sur un fond mobile sujet à des affaissements. Ajoutons que, pour M. Grand'Eury, ces affaissements, auxquels le tassement du houiller, en voie de formation, n'a aidé que dans une très faible mesure, seraient dus à la flexibilité du terrain sur lequel il se déposait. Ce terrain se serait enfoncé sans fracture, comme si la croûte terrestre n'était pas encore durcie, plus suivant l'axe central du bassin, qui a pu se déplacer latéralement d'ailleurs, que vers la périphérie ; en même temps que cet affaissement central aurait eu, semble-t-il, pour contre-coup le relèvement des bords. Grand admirateur de M. Grand'Eury et partisan de la plupart de ses idées, je dois déclarer, dès maintenant, que je ne puis partager celle qui attribue une telle plasticité au substratum du terrain houiller.

Habituellement les bassins houillers sont fort improprement divisés en bassins lacustres et bassins marins, selon qu'ils sont peu importants en surface et circonscrits, ou bien fort étendus. Lorsque des bancs de calcaire marin se rencontrent dans le toit ou le mur d'une couche de houille, comme en Pennsylvanie par exemple, le nom de bassin houiller marin n'est pas critiquable, quoique les formations marines soient loin d'en former la totalité ; mais, dans certains bassins communément nommés marins, aussi bien que dans les bassins lacustres, il en est où les roches encaissantes ont, comme les couches de combustible, une origine essentiellement continentale et pour lesquels le nom de bassin marin doit être répudié.

Dans ces deux derniers cas, M. Grand'Eury attribue la formation de ces roches à la dénudation des parties terrestres plus élevées que les forêts carbonifères, peut-être aussi, sans rien préciser, au ravinement du sol de celles-ci pendant des périodes où des eaux abondantes charriaient, dans le lac houiller, des débris rocheux ne contenant qu'une faible quantité de débris végétaux.

Il y aurait donc eu des alternances dans la nature des matériaux transportés dans les bassins de dépôt. Tantôt ceux-ci auraient consisté principalement en débris végétaux, entraînés par des ruissellements suffisants pour déplacer les digues de matières végétales accumulées sur le sol des forêts houillères, mais incapables de raviner celui-ci ; tantôt l'apport d'eaux bourbeuses chargées de limon, de sable ou de gravier aurait donné naissance au schiste, au psammite, au grès et au poudingue.

M. A. de Lapparent a élevé contre cette conception, en 1892 (1), des critiques qui me paraissent fort exagérées ; car, d'une part, les minces feuillets argileux que l'on peut rencontrer entre les lames de houille et les intercalations schisteuses qui existent dans les couches, d'autre part, les fossiles végétaux et les matières charbonneuses que l'on trouve dans les stamper, montrent que les matériaux transportés par les eaux, dans les deux cas, ne sont pas tellement différents que, moyennant certaines variations dans les conditions orographiques de leur lieu d'origine, celui-ci ne puisse avoir été sensiblement le même.

(1) A. DE LAPPARENT : L'origine de la houille. (*Revue des questions scientifiques*, juillet 1892, p. 13.)

Théorie de M. H. Fayol.

M. A. de Lapparent, dont l'autorité est certainement très grande, est l'un des premiers et des plus chauds partisans de la théorie de M. H. Fayol, qu'il me reste à exposer. Elle admet, d'ailleurs, les idées de M. Grand'Eury sur la désagrégation préalable des végétaux qui ont formé la houille et il sera inutile d'en parler de nouveau.

Nous avons déjà dit que M. H. Fayol a avancé, en 1881, que tous les matériaux constituant le terrain de Commentry, avaient été charriés par les eaux et déposés dans un lac profond.

À cette époque, cet ingénieur distingué, qui est aujourd'hui directeur-général de la Société de Commentry-Fourchambault, dirigeait les houillères de Commentry ; et, depuis plus de vingt années, il s'occupait de travaux de recherche et d'exploitation de houille dans ce bassin.

Les grandes tranchées à ciel ouvert creusées aux affleurements des couches de houille, lui offraient un admirable champ d'observation, en même temps qu'elles facilitaient la découverte des fossiles. Aussi, lorsqu'en 1886, il se décida à publier le résultat de ses études sur le bassin houiller de Commentry et sa théorie sur le mode de formation des terrains houillers en général, avait-il recueilli de très importantes collections de fossiles et de roches. Leur étude confiée à des savants spécialistes, s'ajoutant aux travaux stratigraphiques et lithologiques de M. Fayol, permit la publication de 1886 à 1890, dans le *Bulletin de la Société de l'industrie minérale de Saint-*

Etienne (1), d'une série de travaux fort importants, qui présentent une monographie complète au triple point de vue stratigraphique, lithologique et paléontologique du bassin houiller de Commentry.

L'œuvre propre de M. Fayol comprend trois parties : mode de formation des terrains houillers en général ; études sur le bassin houiller de Commentry ; études sédimentaires.

M. L. de Launay et St. Meunier ont examiné au microscope, en lames minces, les roches recueillies par M. Fayol dans le terrain houiller de Commentry et dans les environs.

MM. E. Sauvage et Ch. Brongniart en ont étudié et déterminé les poissons ; M. Ch. Brongniart s'est occupé, en outre, des nombreux insectes de Commentry provenant des collections de M. Fayol, parmi lesquels il en est d'énormes, comme le *Titanophasma Fayoli*, Ch. Br., dont la longueur atteint 0^m25 et l'envergure des ailes au moins 0^m35.

Enfin MM. B. Renault et R. Zeiller ont consacré un mémoire très considérable par son étendue et son importance, à la flore fossile de Commentry.

Tous ces travaux accompagnés de planches nombreuses, font le plus grand honneur non seulement à leurs auteurs ; mais encore à la Société de l'industrie minérale, qui a supporté les frais de leur publication.

(1) Etudes sur le terrain houiller de Commentry :

H. FAYOL : Lithologie et stratigraphie. (*Bulletin de la Société de l'industrie minérale de Saint-Etienne*, 2^e série, t. XV, 1886.)

L. DE LAUNAY ET ST. MEUNIER : Lithologie (Etudes micrographiques). (*Id.*, 3^e série, t. II, 1888.)

CH. BRONGNIART ET E. SAUVAGE : Faunes ichthyologique et entomologique. (*Id.*, 3^e série, t. II, 1888.)

B. RENAULT ET R. ZEILLER : Flore fossile. (*Id.*, 3^e série, t. IV, 1890.)

Ajoutons que lors de la réunion extraordinaire de la Société géologique de France à Commentry, en 1888, M. Fayol a présenté un résumé de sa théorie de la formation de la houille et du terrain houiller (1); que plusieurs membres de cette réunion, en mesure de bien connaître d'autres bassins de la France centrale circonscrits comme celui de Commentry, ont donné leur adhésion à cette théorie; et que, dès 1885, M. A. de Lapparent a adopté, dans la deuxième édition de son excellent *Traité de géologie*, l'ensemble des vues de M. Fayol, qui forment ce que l'on peut nommer la *théorie des deltas houillers*.

L'étude approfondie du bassin de Commentry a amené cet ingénieur à le considérer comme le résultat du comblement progressif d'un lac de forme allongée, mesurant 9 kilomètres de longueur sur 3 de largeur moyenne et ayant 800 mètres de profondeur maxima.

Au début, les eaux de ce lac entouré de montagnes escarpées, recouvraient toute la surface actuellement occupée par le terrain houiller.

Les eaux pluviales, corrodant peu à peu le sol, creusèrent des vallées dans les versants qui entouraient le lac, et charrièrent dans celui-ci des galets, des sables, du limon et des végétaux. Ces sédiments s'amoncelèrent à l'embouchure des cours d'eau sous forme de deltas, dont un sur la rive Nord, un second sur la rive Est du lac, prirent un grand développement, tandis que deux autres, moins importants, partaient de la rive Ouest. Le premier

(1) H. FAYOL : Résumé de la théorie des deltas et histoire de la formation du bassin de Commentry. (*Bulletin de la Société géologique de France*, 3^e série, t. XVI, p. 968, 1888.)

poussa assez rapidement ses atterrissements jusque la rive méridionale; il rejoignit ensuite le delta de l'Est et l'un des deltas de l'Ouest. Enfin, par la continuation du même processus, le lac fut complètement comblé.

Hâtons-nous de dire que M. Fayol a basé cette appréciation de la marche de la sédimentation, sur les relations lithologiques des roches comprises dans les différentes parties du houiller de Commentry et des roches variées des terrains qui en forment actuellement le pourtour, ainsi que sur l'allure très diversifiée des couches de houille de Commentry, qui parfois présentent, en coupe horizontale, la forme d'un C ou d'un fer à cheval s'ouvrant vers le Sud et non celle d'un bassin.

Avant d'exposer plus complètement la théorie de M. Fayol, il convient de signaler brièvement quelques-unes des particularités du gisement qui la lui a inspirée.

A Commentry, les strates houillères sont loin d'avoir le parallélisme des roches du grand bassin houiller franco-belge, parallélisme qui, tout en étant loin d'être absolu, est cependant suffisant pour faire admettre qu'elles se sont formées à peu près horizontalement. Ajoutons que M. Fayol a constaté que la grande couche de Commentry, qui forme un ensemble vers l'Est et au centre du bassin, se divise vers l'Ouest en six couches distinctes, de plus en plus écartées en remontant vers la surface où les deux extrêmes sont à 600 mètres environ de distance. Des dédoublements de couches de houille, par suite de l'augmentation d'épaisseur d'un banc de schiste intercalé, ne sont certainement pas rares chez nous; mais ce phénomène, comme les variations locales du parallélisme des bancs, n'ont jamais une assez grande importance pour que,

dans leur ensemble, ils ne puissent être considérés comme en stratification concordante.

D'autre part, alors qu'en Belgique les couches de houille sont, en général, nettement séparées de leur mur et de leur toit, il arrive à Commeny que les limites de la couche soient tout à fait confuses, comme, par exemple, lorsque le toit est constitué par des feuilletts schisteux et des veinules de houille obliques par rapport à la couche et convergeant vers elle.

Faisons aussi remarquer que si l'on constate, dans le bassin franco-belge, des modifications latérales dans la constitution minéralogique des bancs rocheux qui séparent les couches de houille, s'ils peuvent passer ainsi du grès au psammite, du psammite au schiste, ces passages se font par des transitions très lentes; tandis que, à Commeny, les modifications de l'espèce sont beaucoup plus rapides et que, par exemple, un poudingue à gros éléments peut passer brusquement, dans ce bassin, à un grès fin et celui-ci à du schiste.

M. Fayol y a constaté des troncs debout; mais, selon lui, ils ne sont pas plus à la place où ils ont vécu que ceux, beaucoup plus nombreux, qu'il a trouvés couchés ou inclinés sous tous les angles possibles. Il a évalué, avec soin, le nombre de troncs couchés, inclinés et debout rencontrés dans les diverses espèces de roches houillères du bassin, et est arrivé aux résultats suivants: les tiges debout sont à peu près égales, en nombre, aux tiges inclinées et elles sont généralement d'autant plus nombreuses, relativement aux tiges couchées, que les éléments constitutifs des roches sont plus grossiers; c'est-à-dire que ce sont les grès et les conglomérats qui en renferment le plus. Mais, dans l'ensemble des terrains, le nombre total des tiges

debout et inclinées n'est que le dixième de celui des tiges couchées ; autrement dit, les tiges debout, c'est-à-dire à peu près perpendiculaires à la stratification, ne sont que la vingtième partie des tiges couchées. Or, si l'on admet pour Commentry que toutes ces tiges ont été charriées par l'eau, il n'y aurait rien d'impossible à ce que, par suite d'enchevêtrement, par suite de la présence de sédiments grossiers dont l'entraînement exigeait une grande vitesse, une partie de ces tiges, minime d'ailleurs, fussent perpendiculaires ou inclinées au fond sur lequel elles s'enfouissaient, ou même se fussent fixées debout avec les racines vers le haut, comme M. Fayol en cite un exemple.

Ce savant ingénieur a admis que dans l'eau profonde et tranquille du lac de Commentry, dont nous avons indiqué d'après lui les dimensions originaires, venaient se déverser des torrents chargés de galets, de gravier, de sables, de limon argileux et de débris végétaux, destinés à devenir des poudingues, des grès, du schiste et de la houille.

Animés à leur arrivée dans le lac, d'une certaine vitesse de translation qui tend à les déplacer horizontalement, ils sont sollicités aussi par la pesanteur, qui tend à les faire tomber verticalement avec des vitesses différentes dépendant du volume, de la forme et du poids spécifique de ces matériaux et qui provoquent leur séparation : les galets et le gravier tombent d'abord, en décrivant des paraboles à court foyer, et forment un dépôt à pente très raide, pouvant atteindre 45° près de l'embouchure ; le sable, puis le limon, s'y superposent avec une inclinaison de moins en moins forte, en s'étendant au-delà du pied du premier cône de déjection ; enfin les débris végétaux, à l'exception d'une faible partie qui est restée mélangée

aux sédiments précédents, s'étalent à leur tour sur le fond, en s'avancant beaucoup plus loin et avec une pente encore plus faible, pour donner une première couche de houille. Un nouvel apport de sédiments mélangés se produisant, le même classement s'effectue; des strates de nature différente se superposent aux précédentes; leur inclinaison décroît avec le volume et le poids spécifique des éléments et la seconde couche de houille converge en profondeur vers la première. Il peut même arriver qu'elle vienne s'y superposer directement; car les sédiments végétaux, plus légers, s'étendent au-delà des sédiments limoneux.

Les mêmes phénomènes se reproduisant, les atterrissements avancent dans le lac; en même temps qu'à l'embouchure, ils s'élèvent vers la surface de l'eau. Bientôt ils atteignent celle-ci et forcent le cours d'eau à se bifurquer une première fois. Le mécanisme bien connu de la formation des deltas continue son action, et ceux-ci s'étendent latéralement tout en progressant vers l'avant. Enfin les divers deltas en voie de formation se rejoignent latéralement, ce qu'indique le mélange des éléments différents amenés par les divers cours d'eau, et le lac finit par être comblé en entier.

M. Fayol a organisé, pour vérifier les déductions tirées de l'observation du gisement de Commentry, de nombreuses expériences, notamment des expériences de sédimentation rapide dans un bassin de 120 mètres de longueur, 3^m50 de largeur et 1^m20 de profondeur servant habituellement à recueillir, par décantation, les particules charbonneuses entraînées par l'eau employée au lavage de la houille.

A la mine de Commentry, l'eau sortant des lavoirs à charbon, forme un courant de 50 litres environ par seconde et tient en suspension 5 à 6 % de matières solides (mélange de houille, de schiste, de pyrite, etc.). Les grains les plus gros et les plus lourds se déposent dans un chenal de 50 mètres de longueur précédant le bassin et l'eau noire, arrivant à une des extrémités de celui-ci, sort presque clarifiée par l'autre, après avoir déposé successivement les gros grains, les grains plus fins, etc., en petites couches de moins en moins inclinées.

Des coupes longitudinales et transversales dans les dépôts obtenus par de nombreuses expériences de l'espèce, où l'on faisait varier la dimension et la nature des schlamms, ainsi que la vitesse de l'eau et le point d'admission de celle-ci, ont montré des analogies nombreuses entre la disposition de ces dépôts artificiels et celle du gisement de Commentry, qui présente peu de régularité d'ailleurs. Elles ont aussi montré combien le tassement de tels dépôts est susceptible de modifier l'allure des couches composées de matériaux très fins, en y produisant soit de petites failles locales de glissement, soit des étranglements et des renflements donnant l'allure dite en chapelet.

Les planches du mémoire de M. Fayol figurent avec de grands détails les résultats de ces expériences, sur lesquelles je ne puis insister plus longtemps.

Quant à la formation des grands gisements houillers dits marins, comme celui qui s'étend de la Westphalie jusque dans le Sud du Pays de Galles et même jusqu'en Irlande en passant par la Belgique et le Nord de la France, elle s'explique dans la doctrine de M. Fayol, telle

qu'elle est interprétée par M. de Lapparent, en admettant que la mer s'étendait sur toute cette longueur et bordait un continent situé au Sud, pourvu d'une riche végétation et dont les pentes étaient dégradées par des eaux de ruissellement abondantes.

Les alluvions mélangées de débris végétaux se classaient en tombant dans les eaux de la mer, en s'étalant beaucoup plus dans ce delta marin que dans un delta lacustre, par suite du balancement de la vague; et, pour la même raison, les dépôts étaient beaucoup plus réguliers.

Malgré tout le talent et les observations si utiles et si consciencieuses de M. Fayol, je ne puis partager sa manière de voir. Même pour Commeny, sa théorie ne me paraît pas expliquer suffisamment le degré de séparation, assez imparfait cependant, qui existe entre les matériaux constituant les différentes strates. Enfin, il ne me semble pas possible d'admettre qu'il n'existe dans ce bassin que des végétaux transportés, et que pas une seule des tiges debout ou des souches enracinées, que l'on y trouve, ne soit à la place même où elle a vécu.

Conclusions.

Me voici arrivé au terme de la tâche que je m'étais imposée de vous faire connaître les théories récentes sur la formation de la houille, après avoir passé succinctement en revue les théories plus anciennes, abstraction faite toutefois de la transformation en houille des matières végétales, autrement dit de leur *houillification*, pour employer l'expression adoptée par M. Grand'Eury.

Je ne puis aussi que mentionner les recherches de M. W. Spring sur la teneur en carbone et en hydrogène

du toit et du mur des couches de houille (1), faites en vue de reconnaître si la théorie du transport ou celle de la formation sur place de la houille mérite la préférence, et qui, sous ce rapport, ne me paraissent pas assez concluantes.

Dans l'exposé des diverses théories, je n'ai pas caché mes préférences pour celle de M. Grand'Eury, malgré le vague qu'elle présente, surtout en ce qui concerne la formation des stamper qui séparent les couches de houille. J'ai l'espoir que la continuation de ses persévérantes recherches, dont il étend de plus en plus le rayon, le conduira à une solution aussi approchée que possible de la vérité. Les constatations de faits que l'on doit à M. Fayol, sont aussi, d'ailleurs, des éléments importants qui ne doivent pas être négligés pour obtenir une bonne solution du problème.

La théorie de la formation sur place, récemment remise en honneur par M. Briart qui, à la suite des découvertes de M. Grand'Eury et autres, l'a modifiée en admettant de légers transports intérieurs au sein de la tourbière houillère, ne me paraît pas suffisante pour expliquer la disposition parallèle des petits lits formant les couches de houille et surtout l'arasement de leur mur.

Je ne puis admettre, non plus, que la majeure partie des sédiments, ayant formé les roches qui séparent les couches de houille dans le grand bassin franco-belge, soient en grande partie des dépôts marins.

Certes, dans l'ampélite et les phanites superposés au

(1) W. SPRING : Détermination du carbone et de l'hydrogène dans les schistes houillers ; contribution à l'étude de la formation de la houille. (*Ann. de la Soc. géol. de Belgique*, t. XIV, p. 131, 1887.)

calcaire carbonifère d'origine marine, nous trouvons des fossiles marins dont la présence n'a rien de surprenant, et il s'en rencontre encore à quelque hauteur au-dessus de la base du houiller ; mais, dès que l'on s'élève dans celui-ci, les fossiles marins sont rares ou discutables.

On ne rencontre plus, avec quelque abondance, que des *Unio* ou *Anthracosia*, qui sont des mollusques d'eau douce, et de très nombreux fossiles végétaux d'origine terrestre. Si les stamées des couches de houille exploitées, si souvent traversées par des percements à travers-bancs, étaient en grande partie d'origine marine, il serait tout à fait étonnant que l'on n'y eût pas rencontré de nombreux fossiles marins. Aussi suis-je d'avis, qu'à l'exception de la partie inférieure du houiller, les stamées qui séparent les couches sont, aussi bien que celles-ci, d'origine essentiellement continentale et proviennent surtout de la dénudation de la surface terrestre par les eaux pluviales, sans nier toutefois la possibilité de quelques rapides incursions d'eaux marines apportant de rares fossiles et sédiments marins.

C'est aussi un des motifs qui, joint à la présence en place de souches et de troncs enracinés, à la séparation si nette de la houille et de ses roches encaissantes, et à la régularité des couches de houille du bassin franco-belge, laquelle, malgré de légères variations de leur faible épaisseur, est réellement extraordinaire, si on la compare à celle d'autres strates, ne me permet pas d'admettre l'application de la théorie des deltas houillers de M. H. Fayol à un bassin si pauvre en fossiles marins, alors que, d'après cette théorie, il se serait formé sous les eaux de la mer.

Quant au reproche fait par M. de Lapparent à la théorie de la formation sur place, lequel peut être étendu jus-

qu'à un certain point à celle de M. Grand'Eury, reproche consistant en ce que les énormes affaissements, que suppose la première de ces théories, auraient dû immerger la plus grande partie de l'Europe, je présenterai quelques considérations qui, à mon avis, permettent de l'éliminer.

Le bassin houiller franco-belge est longé vers le Sud, soit immédiatement, soit à une distance plus ou moins grande, par un accident géologique des plus importants nommé *Faille eifélienne* dans la province de Liège, où il est bien connu du moins à l'Ouest d'Angleur; *Faille du Midi* dans le Hainaut; et que M. Gosselet a fort heureusement appelé la *Grande-Faille*.

D'après ce savant géologue, parfois la fracture est unique et met directement en contact le dévonien inférieur et le terrain houiller, parfois elle est accompagnée d'une seconde cassure qu'il nomme *Faille-Limite*, laquelle rencontre la première en profondeur et affleure au Nord de celle-ci. Dans ce dernier cas, la *Grande-Faille* superpose souvent le dévonien inférieur à un lambeau de poussée compris entre les deux failles et formé de dévonien supérieur, de calcaire carbonifère et même de certaines assises inférieures du houiller, tandis que ce lambeau de poussée repose lui-même obliquement sur le terrain houiller productif par l'intermédiaire de la *Faille-Limite*. Il arrive aussi, d'ailleurs, que la lèvre Sud de la *Grande-Faille* soit formée par le terrain silurien. En outre, il est possible que le calcaire carbonifère soit exceptionnellement en contact normal, bien que renversé, avec la partie Sud de l'étage houiller, comme à l'Ouest d'Andenne par exemple.

L'immense accident de terrain dont il s'agit, est incliné vers le Sud sous un angle qui ne dépasse guère, en

Belgique, 40° à 45° et est même plus faible parfois. Il se poursuit dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais, et j'ai cherché à démontrer, il y a une dizaine d'années, qu'il se prolonge jusque dans le Pembrokeshire en longeant aussi, vers le Midi, les bassins houillers de Bristol et du Sud du Pays de Galles (1).

Quoi qu'il en soit, il est certain qu'un mouvement d'une très grande amplitude, contemporain de la compression qui a provoqué les grands plissements du bassin franco-belge, s'est produit suivant la *Grande-Faille* postérieurement au dépôt du terrain houiller.

Vu la grande importance de cette fracture de l'écorce terrestre, je considère comme très probable qu'elle a été favorisée par l'existence d'une fracture antérieure au dépôt du houiller, fracture qui traversait les terrains plus anciens au Sud de la région où affleure aujourd'hui la *Grande-Faille*, avec la même direction à peu près que celle-ci et une inclinaison qui pouvait être plus grande.

D'autre part, j'ai signalé en 1878, à Landenne-sur-Meuse, une faille fort importante aussi que j'ai nommée *Faille silurienne du Champ d'Oiseaux* (2). Elle est dirigée vers l'E.N.E., incline de 61° en moyenne vers le N.N.W., c'est-à-dire en sens inverse de la *Grande-Faille*, et a eu pour résultat d'amener le terrain silurien au-dessus du calcaire

(1) AD. FIRKET : Examen des études sur l'existence possible de la houille aux environs de Londres. (*Revue universelle des mines*, 2^e série, t. XII, 1882.)

IDEM : Sur l'extension en Angleterre du bassin houiller franco-belge. (*Ann. de la Soc. géol. de Belgique*, t. X, 1883.)

(2) IDEM : Etude sur les gîtes métallifères de la mine de Landenne et sur la faille silurienne du Champ d'Oiseaux. (*Bulletin de l'Académie roy. de Belg.*, t. XLV, 1878.)

carbonifère, des psammites du Condroz, etc. J'estime que cette faille se poursuit vers l'Est au moins jusque Hozémont et que, si elle existait également avant le houiller, elle pouvait former sur cette longueur minima de près de 30 kilomètres, la limite Nord d'un claveau mobile de l'écorce terrestre, dont la limite Sud était constituée par la grande fracture antérieure au houiller dont j'admets l'existence.

Si l'on suppose qu'il se trouvait au Nord de la surface sur laquelle s'accumulaient les dépôts qui ont formé le bassin houiller franco-belge, une succession de failles analogues à la *Faille silurienne du Champ d'Oiseaux* et antérieures à ces dépôts, ceux-ci auraient été superposés à un grand claveau, isolé au Nord et au Sud, susceptible d'éprouver pendant la période houillère une succession de mouvements de descente intermittents, mouvements dont l'amplitude pouvait varier dans le sens de la direction, ainsi que les failles en fournissent fréquemment l'exemple.

Toutefois, il n'était pas nécessaire que des failles aient rendu les terrains du Nord complètement indépendants, comme mouvement, des dépôts houillers. Il suffit, dans ma manière de voir, que ces dépôts aient pu s'affaisser sans que les terrains situés au Sud participent à ce mouvement, tout en éprouvant un mouvement de bascule autour d'un axe ou d'une succession d'axes plus ou moins rapprochés de la limite Nord des dépôts. Autrement dit, tandis que ceux-ci s'affaissaient, les terrains du Nord se seraient élevés.

Dans l'une ou l'autre hypothèse, nous n'avons donc à considérer qu'un affaissement local proportionné à l'épaisseur des strates houillères, avec élévation relative ou réelle des bords Sud et Nord, ce qui fait disparaître l'objection de M. de Lapparent, aussi bien dans la théorie de la formation sur place que dans celle de M. Grand'Eury.

Ajoutons que cette élévation des bords devait avoir pour résultat un changement dans le régime des eaux de ruissellement, dont la vitesse, augmentant avec la différence de niveau, les rendait capables de raviner profondément le sol.

Après une période de tranquillité pendant laquelle une végétation puissante se développait et éprouvait ensuite, tandis que d'autres végétaux lui succédaient, les altérations et les transports préparatoires à sa conversion en une couche de combustible, dont nous avons parlé à plusieurs reprises, le sol se mettait en mouvement. Alors, sans qu'il soit nécessaire de recourir à l'intervention d'une quantité d'eau pluviale plus considérable, car le climat était probablement d'une grande constance, la seule augmentation des pentes qui s'établissaient par suite de la surélévation relative des bords du bassin de dépôt, suffisait pour provoquer la venue, dans celui-ci, des matériaux d'origine terrestre nécessaires à la constitution d'une stampe stérile.

Lorsque le mouvement de descente du bassin s'arrêtait ensuite, le ravinement de ses versants s'atténuait peu à peu ; il arrivait un moment où leurs pentes très adoucies ne permettaient plus aux eaux pluviales de les entamer et où les conditions orographiques se prêtaient, de nouveau, au développement d'une active végétation. On peut admettre qu'alors des spores, des graines et même quelques végétaux complets ayant résisté, grâce à une situation exceptionnellement favorable, à l'entraînement subi par la grande généralité des végétaux et par la majeure partie de la surface du sol, se développaient en donnant lieu à une végétation nouvelle qui, bientôt aussi exubérante que la première, préparait l'élaboration d'une seconde couche de houille.

Pendant la formation des stamper, toute vie végétale n'avait pas cessé d'ailleurs; puisque l'on y rencontre de nombreux fossiles végétaux.

Abstraction faite des bassins houillers où l'on rencontre des calcaires de formation marine, comme dans certains bassins de l'Amérique du Nord dont les aires de dépôt devaient, de temps à autre, communiquer largement avec la mer; et, en visant principalement le bassin franco-belge, je considère donc les stamper comme formées de matériaux d'origine essentiellement terrestre pendant des périodes successives d'affaissement des bassins de dépôt, tandis que le grand développement des végétaux, qui ont donné naissance à chaque couche de houille, correspondait à une période d'arrêt plus ou moins complet de ce mouvement.

Au surplus, des algues vivant à la surface des eaux douces ont, comme MM. C. E. Bertrand et B. Renault l'ont constaté pour les bog-heads, pu contribuer à la formation de la houille, ainsi que quelques restes des rares animaux de l'époque houillère.

Si l'on jette un coup d'œil d'ensemble sur le grand dépôt houiller franco-belge, en faisant abstraction des failles importantes, qui le sillonnent en interrompant la continuité des couches, et des anomalies de sa limite Sud dues à la *Grande Faille*, on constate qu'il affecte actuellement la forme d'un véritable bassin dont l'ennoyage est à peu près parallèle à la direction moyenne du dépôt et dont le versant Nord est constitué par des plateaux, tandis que son versant Sud présente des alternances de dressants renversés et de plateaux, dont l'ensemble plonge vers cet ennoyage.

Celui-ci est loin d'être partout à la même profondeur ; il peut même se bifurquer et affleurer comme dans la région de Samson, près d'Andenne, où le calcaire carbonifère, en apparaissant à la surface, sépare notre grand bassin houiller en deux cuvettes distinctes.

Les couches de houille inférieures, les premières formées, existent du Nord au Sud, de l'Est à l'Ouest, sur presque toute la surface de ces deux cuvettes ; les couches suivantes s'emboîtent dans les premières et ont une moindre étendue ; enfin, les couches supérieures constituent vers l'axe longitudinal des dépôts, dans les régions où la ligne d'ennoyage atteint sa plus grande profondeur, des bassins de plus en plus restreints, emboîtés dans ceux des couches précédentes.

Toutefois, si l'étendue en surface des couches de houille diminue rapidement, au fur et à mesure que l'on s'élève dans la série, la richesse du terrain houiller varie en général dans l'ordre inverse ; c'est-à-dire que, si l'on compare un faisceau de couches de la partie supérieure à un faisceau de couches plus anciennes, on constate que la puissance en charbon du premier est plus grande que celle du second, par suite de la variation en nombre et parfois en puissance des gîtes houillers et de la différence d'épaisseur des stapes qui les séparent.

Par exemple, comparons, dans le bassin de Liège, la série supérieure comprise à La Haye et au Horloz entre le mur de la couche *Cerisier* (qui, dans la région de ce bassin où l'étage houiller est le plus complet, n'est surmontée que de sept à huit couches anciennement exploitées) et le mur de la couche *Grignette*, à la série inférieure qui, au puits du Val-Benoît, commence sous la couche *Olyphon-Stenaye* pour s'arrêter au mur de la couche *Désirée*.

Grande-Pucelle, une des couches exploitables les plus inférieures connues dans le bassin.

Ces deux séries, séparées par environ 550 mètres de roches houillères, ont à peu près la même puissance mesurée perpendiculairement aux strates; elle est de 201 mètres pour la première, de 195 mètres pour la seconde; mais leur richesse en combustible est fort différente.

La première série renferme, sans y comprendre la couche *Cerisier*, dix couches exploitées d'une puissance totale en charbon de 7^m60 et neuf couches ou veinettes inexploitées ayant ensemble 2^m45 en charbon, soit en tout 10^m05 pour une épaisseur totale de 201 mètres, c'est-à-dire 5 mètres de charbon pour 100 mètres de terrain, avec une distance moyenne de 10^m50 seulement entre les couches ou veinettes.

La seconde série ne contient pas d'autre couche exploitable que *Désirée* ayant environ 0^m60 en charbon; et, entre *Olyphon* et cette couche, on n'a rencontré que cinq veinettes dont la puissance en charbon ne peut pas être évaluée à plus de 0^m75, soit en tout 1^m35, ou 0^m69 seulement en charbon pour 100 mètres, avec une distance moyenne de 32^m50 entre les couches ou veinettes.

La richesse en charbon de la série supérieure est donc égale à sept fois environ celle de la série inférieure, si l'on tient compte des couches et des veinettes; et à près de treize fois si, en faisant la comparaison au point de vue industriel, on n'a égard qu'aux couches exploitables.

Par contre, si l'on détermine approximativement, au moyen de la carte des mines publiée pour le bassin de Liège, des tracés horizontaux manuscrits de la région de Huy et des coupes verticales de la carte des mines, l'affleurement de la couche *Grignette*, celui de la couche

Désirée = *Grande-Pucelle* et l'intersection de celle-ci par la *Grande-Faille*, qui a supprimé une partie de son versant Sud, on voit que la surface sous laquelle s'étend la première, n'est guère que la dixième partie de celle sous laquelle existe la seconde (rapport 1 : 9,6), en ne tenant pas compte du terrain houiller du plateau de Herve (1). Celui-ci a été éliminé, non seulement parce que la synonymie des couches de cette région avec celles de la vallée de la Meuse est encore assez mal établie ; mais encore parce qu'elle a subi une dénudation beaucoup plus considérable, ce qui aurait pu vicier notre comparaison.

Les deux couches envisagées présentent des ondulations, des plissements, ainsi que des superpositions suivant la verticale dues à certaines failles. Par suite, si on les développait, on obtiendrait, pour chacune d'elles, une surface plus grande que celle comprise entre les affleurements ou la rencontre de la *Grande-Faille* ; mais on peut admettre, sans crainte d'erreur bien importante, que le rapport entre les développements de ces couches ne différerait guère du rapport 1 : 9,6 existant entre les surfaces horizontales qu'elles occupent actuellement.

(1) M. l'ingénieur Th. CLAES a bien voulu, à ma demande, calculer la surface limitée par l'affleurement probable de *Griguette* et celle qui est comprise, dans la région allant du bassin de Herve jusque Samson, entre les affleurements hypothétiques de *Désirée* = *Grande-Pucelle* et l'intersection de cette couche par la *Grande-Faille*.

Il a trouvé pour la première 2091 hectares, pour la seconde 20 100 hectares, soit à peu près le rapport 1 : 9,6.

A l'Est de la Méhaigne, M. CLAES a pu tracer les affleurements probables, en partant des données fournies par les travaux miniers ; à l'Ouest de cette rivière, les affleurements de la couche inférieure ont été supposés parallèles au contact du houiller et du calcaire carbonifère.

On peut étendre approximativement les mêmes considérations aux couches et aux veinettes des deux séries, d'épaisseurs sensiblement égales, que nous avons choisies, et faire remarquer qu'en les envisageant dans toute leur étendue, abstraction faite de leur utilisation industrielle, la quantité totale de charbon contenue dans la première est à peu près les sept dixièmes de celle que renferme la seconde.

J'en conclus que les apports végétaux qui ont formé ce qu'il est resté de charbon, après la dénudation du terrain houiller, dans chacune des deux séries considérées, étaient à peu près aussi dans le même rapport comme quantités.

Avec beaucoup de bons auteurs, on peut certes supposer que toute notre formation houillère était originairement à peu près horizontale, que les couches supérieures avaient alors autant d'étendue, si pas plus, que les couches inférieures, et que des compressions, des soulèvements locaux, suivis d'une dénudation colossale, ont donné à cette formation sa disposition actuelle en bassins d'autant plus restreints qu'ils sont plus récents.

L'horizontalité primitive du houiller et d'énormes dénudations sont admises dans le mémoire déjà cité de MM. F. L. CORNET et A. BRIART : *Sur le relief du sol en Belgique après les temps paléozoïques*, mémoire dans lequel est donnée une explication ingénieuse de l'accident énigmatique qui a déterminé l'existence à Boussu, Thulin, Hainin, etc., c'est-à-dire presque au milieu du bassin houiller du Borinage, d'un lambeau de terrains anciens, fort étendu dans le sens de la direction de ce bassin, où se trouvent, en position renversée, le silurien,

le dévonien et probablement aussi le calcaire carbonifère et le terrain houiller (1).

D'après les planches nombreuses et fort intéressantes qui accompagnent ce beau travail, la dénudation du houiller dans la région considérée aurait été telle, qu'il n'en serait pas resté en volume la dixième partie de ce qui existait primitivement. Il est vrai que les auteurs se sont abstenus volontairement d'indiquer l'échelle de leurs planches; mais, je ne pense pas exagérer en disant qu'ils attribuent à la dénudation du houiller, une importance au moins aussi grande que celle que je viens d'indiquer.

Considérant les matériaux des stamper qui séparent les couches de houille comme provenant, en presque totalité, de l'érosion des versants de la grande vallée houillère, versants qui éprouvaient périodiquement une élévation *relative* par rapport aux aires de dépôt et des ravincements, j'admets d'importants phénomènes de dénudation pendant la durée de la formation houillère. Mais, après la fin de celle-ci et la compression qui lui a donné ensuite sa disposition actuelle, il ne me paraît pas nécessaire de supposer que le houiller lui-même ait subi une dénudation dépassant quelques centaines de mètres, si ce n'est exceptionnellement.

(1) Dans un mémoire récent, publié après ma lecture à l'Association des Ingénieurs, M. A. Briart est revenu incidemment sur l'accident de Boussu, en disant avoir reconnu, depuis longtemps, que l'explication qu'il en a donnée avec F. L. Cornet doit être abandonnée, comme bien d'autres qui l'ont précédée. Il ne doute nullement, ajoute-t-il, que son regretté collaborateur n'en eût fait autant, si la mort n'était venue l'enlever prématurément à ses travaux géologiques. — A. BRIART : Géologie des environs de Fontaine-l'Évêque et de Lamblies. (*Ann. de la Soc. géol. de Belgique*, t. XXI, p. 43.) — Note ajoutée pendant l'impression.

Pour justifier, d'ailleurs, la colossale dénudation du houiller souvent admise, il faudrait pouvoir montrer dans les terrains plus récents formés à ses dépens, soit des dépôts charbonneux, soit de puissantes assises de roches colorées en noir par le charbon, permettant de se rendre compte de la forme nouvelle prise par l'immense quantité de houille provenant d'une telle dénudation. Or, la coloration des argiles noires de la base du terrain crétacé du Hainaut, pas plus que celle de certains dépôts jurassiques beaucoup plus étendus, il est vrai, ne sont pas suffisantes pour cela, même en admettant que cette coloration ne soit due qu'à de la houille très divisée.

Je pense que, dans le bassin franco-belge, les couches de houille supérieures ont eu, dès l'origine, une étendue moindre que les couches inférieures et que les matières végétales, qui les ont formées, se sont déposées dans des cuvettes allongées, à versants extrêmement peu inclinés, dont la surface a décliné successivement.

Cette réduction s'explique, si l'on admet la mobilité de la base du terrain houiller, en voie de formation, et une friction à son contact avec la partie fixe du terrain du Sud. Il a dû en résulter un moindre affaissement de la région Sud du houiller, se traduisant par un relèvement par rapport à sa partie moyenne. De même, l'une ou l'autre des hypothèses énoncées plus haut, en ce qui concerne la région Nord, permet de se rendre compte de la réduction des aires de dépôt dans cette direction. Enfin, en admettant que le mouvement de descente de la formation houillère a été peu important dans la région de Samson, pour s'accroître à l'Est vers Liège, à l'Ouest vers Charleroi, on comprendra comment les bassins de dépôt des différentes couches de houille se sont déplacés, en s'écartant dans

ces deux directions, tout en diminuant progressivement de largeur dans le sens Nord-Sud.

Au début de l'époque houillère, les bassins de Liège d'une part, de Namur et du Hainaut de l'autre, ont pu communiquer par des dépôts recouvrant le seuil calcaire de Samson et que la dénudation a emportés; mais ces deux bassins sont ensuite devenus indépendants, si, comme je crois pouvoir l'admettre, l'extrémité Ouest de l'un, l'extrémité Est de l'autre, n'ont suivi que dans une très faible mesure le mouvement de descente de l'axe des dépôts, qui allait en augmentant vers Liège et vers Charleroi.

La forme en bassin de nos dépôts houillers, aujourd'hui si accentuée par les mouvements postérieurs à leur formation, aurait donc commencé à s'accuser légèrement dès leur origine.

Les aires de dépôt des différentes couches s'étendaient évidemment au delà des affleurements actuels; car, indépendamment de leur réduction par suite des effets de compression déjà indiqués, des phénomènes de dénudation, mêmes réduits à quelques centaines de mètres, ont diminué notablement aussi l'étendue superficielle des dépôts houillers; et, en outre, la *Grande-Faille* a supprimé une partie du versant Sud des couches inférieures, comme nous l'avons dit pour *Désirée*.

Nous manquons de point de comparaison pour estimer l'ablation que la surface du terrain houiller a subie; mais, quelle que soit son importance, il est certain que si elle a été la même pour tout le bassin de Liège par exemple, en faisant abstraction de celui du plateau de Herve qui a dû subir une dénudation beaucoup plus forte, la réduction en surface du bassin de chaque couche a été d'autant plus grande, proportionnellement à ce qui en existe encore aujourd'hui, que cette couche est plus récente.

Pour comparer, à ce point de vue, les couches supérieures aux couches inférieures, il faut d'ailleurs restituer à celles-ci la partie de leur versant Sud supprimée par la *Grande-Faille*, c'est-à-dire s'efforcer de rétablir les choses dans l'état où elles étaient avant l'action de celle-ci.

Un calcul assez exact a fourni 1 : 9,6 pour le rapport des surfaces horizontales sous lesquelles existent actuellement les couches *Grignette* et *Désirée* dans les bassins de Liège et de Huy. D'autres calculs faits dans l'ordre d'idées que je viens d'indiquer, mais dont le degré d'approximation est beaucoup moindre, m'ont donné pour ces surfaces le rapport 1 : 7 avant la dénudation, si on la suppose de 300 mètres (1), c'est-à-dire l'inverse du rapport obtenu pour la richesse en houille, dans le sens vertical, des deux séries *Cerisier-Grignette* et *Olyphon-Désirée*, lequel est 7 : 1. Il semble donc, en admettant une dénudation de 300 mètres, que le contenu en houille de ces deux séries de puissances à peu près égales et, par suite, la quantité des apports végétaux qui entraient dans leur constitution, étaient les mêmes avant l'action de la *Grande-Faille* et la dénudation.

(1) Les bases principales de ces calculs sont :

1° La détermination, aussi exacte que possible, du développement périmétrique des affleurements de *Grignette* et de *Désirée* = *Grande-Pucelle*.

2° L'adoption d'une inclinaison moyenne de 17° S. pour le versant Nord de *Grignette*, de 57° N. pour son versant Sud; d'une inclinaison moyenne de 23° S. pour le versant Nord de *Désirée* et d'un report vers Sud, en s'élevant vers la surface, des crochons du versant Sud de cette dernière couche, correspondant à une inclinaison générale de 60° N. Si l'on adoptait pour cette dernière donnée, qui est la plus hypothétique, 70° au lieu de 60°, le résultat différerait très peu, d'ailleurs, du rapport 1 : 7 entre les surfaces des deux bassins avant la dénudation de 300 mètres.

Toutefois, une partie des données adoptées pour mes calculs ne sont pas assez certaines pour affirmer qu'il en est bien ainsi ; de plus, le rapport entre les aires de dépôt primitives et les bassins déterminés par le plissement du houiller a pu varier pour les différentes couches. D'autre part, on ne peut rien présumer, quant à la durée et à l'activité des périodes de végétation qui séparaient les affaissements successifs des aires de dépôt, que je suppose, pas plus que quant à la durée de ceux-ci.

Il est vrai que si l'on faisait abstraction de cette dernière considération, on pourrait se borner à appliquer aux deux séries considérées la notion générale qui admet, en géologie, l'égalité de durée de la formation des séries sédimentaires de même puissance, constituées par des éléments analogues ; mais il faudrait encore pour que la dénudation de 300 mètres de hauteur que j'ai obtenue, puisse être considérée autrement que comme un résultat tout à fait théorique, que l'on ait de bonnes raisons d'admettre, pour chacune des deux périodes, l'égalité de la totalité des apports végétaux, qui n'auraient différé que par leur répartition.

Malgré toutes ces réserves, la relation indiquée, fût-elle même beaucoup moins directe, me paraît s'allier trop bien avec mon hypothèse de la réduction progressive des aires de dépôt et d'une dénudation finale modérée du houiller, pour ne pas être signalée.

Deux autres conséquences résultent des idées théoriques qui viennent d'être exprimées :

L'une est l'extension progressive des surfaces propres à la végétation aérienne due au retrait des bassins de dépôt, laquelle a dû contribuer aussi à augmenter la richesse de la partie supérieure du houiller.

L'autre résultat du redressement relatif des parties périphériques, les plus anciennes, de ce terrain. Elles ont pu ainsi être ravinées et fournir des matériaux pour ses parties récentes. En Belgique, je ne connais guère de faits bien indiscutables à l'appui de cette manière de voir, les faits de l'espèce ayant peu appelé jusqu'ici l'attention chez nous, quoiqu'ils ne soient pas rares à l'étranger. MM. C. Grand'Eury et H. Fayol en ont cité de nombreux en France, et je dois à M. le professeur A. Hahets un intéressant échantillon provenant d'une couche du siège San Victor de la Société des Houillères du Turon, dans les Asturies, constituée presque entièrement par des galets de houille à arêtes et angles arrondis. Ces galets, qui ont jusque quatre centimètres et même plus de longueur, ne me paraissent pouvoir provenir que d'une couche de houille plus ancienne ayant subi des actions d'érosion et de transport, et qui était déjà consolidée avant que la formation houillère de la région ne fût terminée.

Après avoir exposé et discuté les principales théories sur l'origine et le mode de formation de la houille, je me suis laissé entraîner à émettre, sur ce sujet, quelques idées personnelles qui pourraient être étendues à d'autres bassins houillers que le bassin franco-belge.

Je ne me dissimule pas qu'elles sont de nature à soulever des objections, aussi fondées peut-être que celles que je me suis permises à l'égard d'autres théories dans le cours de ce travail; mais, s'il en est ainsi, je n'aurais fait que confirmer une fois de plus le vieux proverbe : La critique est aisée, mais l'art est difficile.

38^e ANNÉE

REVUE UNIVERSELLE DES MINES

(SOCIÉTÉ ANONYME).

L'abonnement à la REVUE UNIVERSELLE DES MINES, ETC., comprend douze numéros annuellement paraissant tous les mois et formant chaque année quatre tomes in-8° de 500 à 550 pages chacun accompagnés de 50 à 60 planches gravées.

Prix de l'abonnement annuel : Paris et Liège, 35 fr.

Départements et Belgique (provinces) franco, 38 fr.

Union postale franco, 40 fr. — Un n° séparé, 4 fr.

Collection complète 1^{re} série (1857 à 1876 inclus), 500 fr.

" " 2^e série (1877 à 1887 inclus), 385 fr.

La REVUE insère des annonces exclusivement industrielles, c'est-à-dire se rattachant directement aux mines, à la métallurgie, à l'industrie des chemins de fer, ainsi qu'aux sciences appliquées.

S'adresser à la direction à Paris ou à Liège pour en connaître le prix et les conditions.

ON S'ABONNE

A Paris, 9, rue des Saints-Pères; à Liège, 40, rue Beckman
et chez les principaux libraires de l'étranger.