

BIBLIOTHÈQUE  
J. Gosselet

K

Num 1 → 37  
SGN Br 905  
21  
EXTRAIT

DES

COMPTES RENDUS DU CONGRÈS GÉOLOGIQUE INTERNATIONAL  
DE 1900

# TRANSFORMATION des Végétaux

en

## COMBUSTIBLES FOSSILES

*Geologi certant, ad huc sub iudice lis est*

PAR

**L. LEMIERE**

Ingénieur Civil des Mines, Ingénieur principal aux Houillères de  
MONTVICQ (Allier)



PARIS

Société des Imprimeries Techniques Francis LAUR  
8, Rue du Débarcadère

1900

à Monsieur  
Gosselet

Hommage de l'Académie

L. Ferris

70 7<sup>bre</sup> 1901

S

sgu 20100312

1<sup>er</sup> Partie

TRANSFORMATION

DES VÉGÉTAUX

En combustibles fossiles

*Geologi certant, adhuc sub iudice lis est.*

ESSAI SUR LE ROLE DES FERMENTS

	Pages
§ 1 Origine et but de cette note . . . . .	3
» 2 Exemples de végétaux transformés . . . . .	5
» 3 Provenance des diastases ou ferments solubles et des ferments vivants . . . . .	9
» 4 Propriétés chimiques des diastases . . . . .	11
» 5 Assimilation de la formation de la houille à la fabrication de l'alcool . . . . .	13
» 6 Formation des houilles proprement dites, des bog- heads, cannel-coals, schistes bitumineux et bi- tumes . . . . .	17
Formation des anthracites . . . . .	24
— des lignites . . . . .	25
— des tourbes . . . . .	26
» 7 Modifications chimiques de la cellulose . . . . .	28
» 8 Conclusions . . . . .	30

## Préface

---

*Il ne paraît plus douteux que le processus de formation des combustibles fossiles ne soit microbien. Cette conception, entrevue par Van Tieghem, il y a vingt ans, a été fortifiée d'année en année par les travaux de M. Ch. Eg. Bertrand et de M. B. Renault, et, en dernier lieu, les publications de M. B. Renault dans l'Industrie minérale, 1899 et 1900, ne permettent plus de mettre en doute la réalité de l'intervention des ferments dans la genèse des combustibles minéraux.*

*Dès lors, l'assimilation de cette fermentation à d'autres mieux connues ne devait pas se faire attendre : c'est ce que j'ai entrepris pour la fermentation alcoolique.*

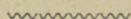
*Les parties végétales les premières attaquées par les ferments, sont les sucres cellulaires qui doivent leur activité végétative à leurs diastases : celles-ci doivent donc jouer un rôle important dans les fermentations qui se déclarent au milieu d'une masse de végétaux arrachés de leur sol de végétation.*

*L'absence de saisons à la surface du globe jusque dans les Temps secondaires, la présence des antiseptiques provenant du travail bactérien lui-même, ou bien préexistant dans les eaux ambiantes, m'ont permis d'expliquer les variétés de combustibles et leurs interversions, c'est-à-dire leur formation simultanée, à une même époque géologique.*

*Le mode de formation sédimentaire que j'indique pour les bog-heads, les cannel-coals et les bitumes en général, m'a été suggéré par l'observation du mode de gisement de ces variétés à l'intérieur des couches de houille. La question des matières volatiles n'est que posée.*

*Le travail que j'ai préparé pour le Congrès géologique international de 1900 ne fait donc pas double emploi avec les travaux publiés antérieurement sur le même sujet.*

L. L.



## § 1.-- ORIGINE ET BUT DE CETTE NOTE

Le mémoire très succinct que j'ai l'honneur de soumettre à l'appréciation éclairée du Congrès géologique international est en partie une application de la théorie des ferments de Pasteur, et dans son ensemble, un enchaînement méthodique expliquant la formation chimique des divers combustibles minéraux.

La difficulté considérable d'exposer d'une manière à la fois claire et concise, le rôle des ferments dans la transformation des végétaux en combustibles fossiles me porte, avant même d'entrer en matière, à donner au lecteur le conseil utile de passer aux Conclusions finales, après la lecture du § 1<sup>er</sup>. Ayant ainsi dans l'esprit le point de départ et le point d'arrivée, il jugera mieux les analogies et les déductions qui font l'objet des paragraphes intermédiaires.

Cela posé, voici l'origine de ce travail :

Il y a déjà plusieurs années que je me suis proposé de rechercher la meilleure utilisation possible d'un siège d'extraction houillère arrivée à sa fin. La solution de cet intéressant problème exige, dans les pays de culture comme l'Allier, la connaissance technique des industries agricoles et particulièrement de la distillerie.

Les réactions du malt et des levures sur les matières amylicées dans la fabrication des alcools neutres m'ont conduit à rechercher tout ce que l'on connaît aujourd'hui de l'action des *diastases* et des *ferments* sur la cellulose. De là à en faire une application à la formation chimique des combustibles minéraux, il n'y a qu'un pas d'autant plus facile à franchir que cette question est encore à l'ordre du jour : « adhuc sub iudice lis est. »

Est-il possible d'assimiler la fabrication de l'alcool à la formation de la houille et de retrouver dans cette dernière opération accomplie par les forces naturelles, les mêmes phases de macération, de vie microbienne aérobie et anaérobie, les mêmes dégagements de gaz et finalement un enrichissement des matières premières en carbone, phénomènes que l'on reproduit journallement dans l'industrie ? L'alcool réuni aux pulpes et aux drèches est-il un produit comparable à la houille ?

On verra plus loin au § 5 qu'il y a analogie complète entre la fermentation alcoolique et la fermentation houillère ; mais il y a en outre bien d'autres problèmes à résoudre.

En effet, les lois stratigraphiques, quelles qu'elles soient qui ont présidé à l'entassement des végétaux les uns sur les autres et à leur enfouissement, n'ont pas eu d'influence sur les modifications ultérieures qui les ont atteints.

C'est une autre cause, d'ordre différent, et dont l'étude soulève de nombreuses questions.

1° Ces végétaux enfouis avaient-ils déjà subi quelque préparation physique ou chimique avant leur enfouissement ?

2° Et après leur incorporation aux sédiments, quelles sont les réactions qui se sont produites dans leur masse ?

3° A la faveur de quel agent, la cellulose sèche contenant à peine 50 % de carbone arrive-t-elle à en renfermer jusqu'à 95 % ?

4° Est-il nécessaire d'invoquer l'intervention d'un agent extérieur, ou bien les végétaux renferment-ils en eux-mêmes tous les éléments de leurs transformations diverses ?

5° Quelle est la nature du ciment mystérieux qui relie entre elles les parcelles végétales, pénètre jusque dans leurs pores et souvent constitue toute la masse ?

6° Pourquoi y a-t-il des anthracites, des houilles, des lignites et des tourbes et non un combustible unique, puisque le point de départ est le même : la cellulose toujours identique à elle-même ?

7° Pourquoi des variétés telles que les cannell-

coals, les bog-heads et les schistes bitumineux? Peut-on y rattacher les pétroles et les asphaltes?

8° Comment se sont formés le grisou et l'acide carbonique qui accompagnent si souvent les couches de combustibles fossiles?

9° Comment les milieux ambiants ont-ils acquis l'antiseptie nécessaire pour la conservation des tissus végétaux dans certains cas?

10° Les divers combustibles peuvent-ils dans leur gisement, à l'état fossile, passer de l'un à l'autre avec le temps sans intervention extérieure?

11° Enfin, pourquoi la synthèse de la houille n'est-elle pas encore un fait accompli?

La présente note a pour but de chercher des réponses plausibles à ces diverses questions, c'est-à-dire de rechercher la valeur et de préciser le sens des expressions vagues dont on se sert généralement en parlant de la genèse des houilles : *macération*, *bouillie végétale*, *eaux brunes* chargées de matières humiques, *fermentations*, etc.; ces mots, si souvent employés sans explication, cachent des réactions mieux connues chaque jour et à la faveur desquelles il est peut-être déjà possible de soulever un coin du voile qui recouvre encore les circonstances de ce phénomène.

## § 2. — EXEMPLES DE VÉGÉTAUX TRANSFORMÉS

En face d'un programme aussi vaste, il est nécessaire de subdiviser la question; avant de m'occuper des végétaux anciens, il m'est indispensable de rappeler certaines transformations bien connues.

1° Lorsqu'un arbre a été arraché de son sol de végétation, chacun sait qu'il ne meurt pas aussitôt et qu'au printemps il pourrait encore donner des bourgeons et des feuilles; cela vient de ce que les diastases ou ferments solubles renfermés dans ses tissus continuent quelque temps leurs rôles avant de s'altérer et favorisent encore la circulation des matières nutritives. Chacun sait aussi que si cet arbre est

abandonné en plein air, il ne tardera pas à disparaître sous l'action des ferments vivants toujours abondamment répandus dans l'atmosphère ; il y a deux causes d'action qui se succèdent : l'une intérieure, celle des ferments solubles ; l'autre extérieure, celle des ferments vivants et finalement le végétal se trouve presque tout entier résolu en éléments gazeux dispersés au fur et à mesure de leur formation : c'est un phénomène d'oxydation ou combustion lente ne rencontrant pas d'obstacle, tandis que dans les cas suivants il se produit un obstacle qui est l'eau chargée de principes antiseptiques en dissolution ou produits par l'action même des bactéries sur certaines parties végétales plus faciles à attaquer que les autres ; exemple, l'action du bacille amylobacter dans le rouissage du chanvre.

— 2° En effet, si cet arbre dont je viens de parler est placé dans un milieu antiseptique, c'est-à-dire impropre au développement des microorganismes, les choses se passent autrement. J'ai vu souvent, aux environs de Cherbourg retirer du milieu des sables submergés par des eaux saumâtres, des pièces de bois considérables mises en réserve depuis nombre d'années (50 à 100 ans) pour les besoins des constructions navales : à part la couleur, ces bois ne paraissent pas altérés ; cependant, on constate que les fibres ligneuses sont devenues plus dures mais aussi plus cassantes ; elles ont peut-être perdu une partie de leur résistance à la flexion.

Les ferments solubles ont pu continuer leur rôle quelque temps après l'immersion, mais l'imbibition du sel marin n'a pas tardé à les détruire de même que les ferments vivants qui avaient pu trouver accès : dès lors, les tissus végétaux légèrement modifiés sont à l'abri de toute action destructive.

(Il ne faut pas confondre l'action des microbes avec celle des tarets : Le taret est un animalcule d'une organisation assez élevée, dont l'eau de mer favorise au contraire le développement et dont l'action sur les bois ne peut être combattue que par des injections de sels métalliques, des peintures ou des doublures de cuivre.)



Le même phénomène de conservation s'est trouvé reproduit sous l'action des forces naturelles et sur une échelle incomparablement plus grande dans les vastes grèves qui entourent le mont Saint-Michel. Tout le monde connaît la légende de cette forêt qui s'étendait anciennement, depuis le Mont Saint-Michel, au moins jusqu'à Jersey en mer et à Port-Bail sur la côte du Cotentin et qui fut engloutie sous les eaux de la mer au cinquième siècle de notre ère ; mais ce qu'on sait moins, c'est que dans la suite des siècles, quelques-uns de ces arbres, après avoir échappé à des causes multiples de destruction, retrouvés parmi les rochers du littoral, ont servi souvent à faire des meubles et des outils divers, des instruments aratoires et des pièces de charpente d'une durée exceptionnelle. Ces faits m'ont été rapportés plus d'une fois par les habitants de la côte. Cela vient de ce que, comme les pièces de constructions navales, ces bois, après avoir subi l'action des ferments solubles, ont été préservés des ferments vivants par le sel marin.

— 3° Mais on trouve aussi des arbres ensevelis depuis des siècles dans des milieux ne présentant pas de caractères antiseptiques spéciaux et servant seulement d'isolant avec l'atmosphère ; c'est un cas intermédiaire entre celui des arbres abandonnés en plein air à la surface du sol et celui des arbres ensevelis dans un terrain antiseptique. Quoique protégés contre les agents atmosphériques par une épaisse couche d'eau ou de sédiments, ils ont subi les actions des deux sortes de ferments ; nous les retrouverons à l'état de lignites ou de houille.

D'une manière générale, les végétaux des diverses époques géologiques, dans ces conditions, se sont transformés en tourbe, lignite, houille ou anthracite sous l'action des ferments et des antiseptiques ; ferments solubles, ferments vivants et agents antiseptiques, tels sont les trois facteurs qui ont amené la cellulose à l'état de combustible fossile.

D'où viennent ces ferments ? comment s'est faite cette action ? Pourquoi les végétaux n'ont-ils pas disparu ? Pourquoi le travail bactérien qui a tout

détruit dans le premier cas, qui est à peine esquissé dans le second cas, s'est-il trouvé d'abord exalté, puis enrayé dans celui-ci ? C'est ce que j'ai déjà fait entrevoir ci-dessus et ce que je continuerai d'expliquer dans les paragraphes suivants.

— 4° Supposons que le distillateur de nos jours, au lieu de matériaux de choix comme les grains et les tubercules, introduise dans ses appareils des végétaux quelconques et qu'il les soumette au même traitement chimique et microbien, c'est-à-dire à l'action des diastases et des levures. On sait d'avance que le résultat de cette opération sera un dégagement abondant de gaz, et, comme résidu asséché, un magma mucilagineux analogue aux drèches de brasserie, de couleur brune plus ou moins foncée et dans lequel les feuilles et les écorces sont réduites à l'état de bouillie, les fibres ligneuses sont altérées sous l'action des ferments : il y a eu à la fois modification physique et chimique.

Ces phénomènes 1°, 2°, 3°, 4°, les uns naturels, les autres expérimentaux, sont-ils de nature à jeter quelque lumière sur la formation naturelle des combustibles minéraux, en donnant l'explication des transformations physiques et chimiques nécessaires pour passer d'un amas de végétaux à des corps qui en sont si différents d'aspect et de composition comme les houilles, les lignites et les tourbes ?

A cette question, on peut répondre affirmativement, mais à la condition préalable de démontrer l'existence des diastases libres et des ferments actifs dans toute accumulation végétale, à toutes les époques géologiques, et surtout de faire remarquer que leur action transformatrice était alors, par l'effet des conditions climatiques, surexcitée à l'égal de la vie végétative ; celle-ci étant toujours une conséquence directe de celles-là.

§ 3. — PROVENANCE  
DES DIASTASES OU FERMENTS SOLUBLES  
ET DES FERMENTS VIVANTS

Le mot *diastase* veut dire disjonction, désagrégation ; c'est un terme général employé pour désigner des substances organiques très importantes, mais encore mal connues. On les appelle aussi ferments solubles, parce que leur action est souvent concomitante avec celle des ferments vivants dont elles sont quelquefois d'ailleurs une sécrétion.

*Ferments solubles.* — L'histoire naturelle des végétaux vasculaires en général, depuis le cryptogame le plus simple jusqu'au phanérogame le plus élevé dans la série organique, nous dévoile à chaque instant l'action des diastases, soit pour gélifier les celluloses, solubiliser les matières amylacées ou saponifier les huiles et les corps gras. Le protoplasme des cellules qui est le même pour tous les êtres vivants renferme les éléments des diastases ; non pas que celles-ci puissent agir à tout instant, elles y sont au contraire à l'état latent et ne se forment sous l'action des forces vitales qu'au moment précis où les spores et les œufs doivent se séparer de la cellule mère, où les fleurs doivent être fécondées et où les grains doivent germer.

Ces organismes jeunes, à l'état embryonnaire, ont besoin de trouver à leur portée des substances assimilables : c'est le rôle des diastases de les leur fournir, de même qu'elles interviennent au moment voulu dans la digestion des animaux.

A mesure que l'organisme végétal se complique et que les cellules se différencient pour former des vaisseaux et des tissus spéciaux, on observe que les matières nutritives ont une tendance à se localiser dans des organes de réserve au lieu de rester répandues dans toute la masse. Les diastases obéissent naturellement à la même loi, en sorte que les fructifications et les graines en sont toujours des centres abondants de production. Cependant les diastases ne

désertent pas complètement les sucs cellulaires, car, outre les fonctions de nutrition embryonnaire, elles servent encore à redissoudre les matériaux mis au rebut pendant la vie végétative pour les verser dans le courant circulatoire où ils doivent de nouveau jouer leur rôle dans l'évolution des cellules.

C'est ainsi qu'une plante, arrachée de son sol et enfouie pour la priver d'air, continue cependant à vivre jusqu'à l'épuisement des réserves nutritives ou l'altération des diastases.

On peut dire, en résumé, que tout amoncellement de végétaux renferme d'autant plus de diastases libres qu'il contient plus de fruits et de graines arrivés à maturité. Je ferai l'application de cette remarque à chaque époque géologique pour en tirer des conséquences importantes qui me serviront à expliquer les différentes sortes de combustibles fossiles.

*Ferments vivants.* — Aux premiers degrés de l'échelle des êtres vivants, à la base de la classification végétale, au-dessous des végétaux vasculaires, se trouve le mystérieux domaine des cellulaires, dont les classes principales sont : les champignons, les algues, les diatomées, les bactériacées, etc. Les microorganismes sont toujours abondamment répandus dans l'air, l'eau, le sol, et particulièrement adhérents aux végétaux des classes plus élevées. Ils renferment également dans leur protoplasme les éléments des diastases : il y a plus, certains d'entre eux agissent comme ferments vivants sur les hydrates de carbone en contact, et cette action ne se produit qu'à l'aide d'une diastase que le microorganisme sécrète lui-même au moment où privé d'air, il ne peut vivre qu'aux dépens du milieu ambiant ; alors se produit le phénomène de la *fermentation* qu'on peut définir : la lutte pour la vie d'un organisme qui ne veut pas mourir et qui résiste à l'asphyxie menaçante ; le mot de fermentation, en dépit de son origine qui indique une effervescence, s'applique aujourd'hui aux réactions produites par les organismes microbiens, même quand il n'y a pas dégagement de gaz.

L'origine des ferments solubles ou vivants dans une masse végétale arrachée de son sol, n'a donc

plus besoin d'être démontrée. Quant aux conditions physiques de leur action on sait seulement qu'une lumière trop vive ou un courant électrique trop fort lui sont contraires.

La levure de bière sèche supporte une température de 100° sans périr.

Quant au rôle de la pression, on sait qu'il existe des organismes vivants dans les grandes profondeurs des mers. Les pressions excessives retardent simplement l'action microbienne ; or, en géologie, le temps est ce qui manque le moins.

Ce qui précède nous indique que les ferments vivants comme les ferments solubles agissent par un principe immédiat qui est une diastase. Ces diastases sont-elles identiques quelle que soit leur provenance ? Quel est exactement le rôle des ferments solubles et celui des ferments vivants ? Je ne saurais le dire : la microbiologie nous apprend seulement qu'il n'est point d'action diastasique qui ne puisse être le fait d'un ou de plusieurs microbes. Cette double origine assignée aux diastases vient de ce qu'on les trouve aux confins de la chimie et de la microbiologie sur les extrêmes limites de la science actuelle où la connaissance exacte d'un phénomène se dérobe à chaque instant sans qu'on puisse dire souvent si on a affaire à une action chimique ou vitale. Je m'empresse de quitter ces parages de haute science où je risquerais fort de m'égarer pour rentrer dans des sentiers plus battus.

#### § 4. — PROPRIÉTÉS CHIMIQUES DES DIASTASES

Après avoir défini les diastases au point de vue physiologique, il me reste à donner leurs propriétés chimiques principales.

Ce sont des composés organiques connus surtout par leurs effets sur les hydrates de carbone ; leur composition chimique, probablement azotée, est encore incertaine à cause de la difficulté de les obtenir purs.

Les diastases sont très solubles dans l'eau, inso-

lubles dans l'alcool ; elles se forment pendant la vie des végétaux ; leur nombre est considérable et chacune d'elles semble avoir une fonction spéciale, mais leur caractère général est d'agir sur les hydrates de carbone pour les rendre solubles et par suite assimilables : les acides faibles favorisent généralement cette action qui ne se produit plus au-dessus de 75°.

La germination des graines est une source abondante de diastases ; l'industrie s'est emparée de ce fait qui est la base de la fabrication des glucoses, des bières et des alcools.

Dans le rouissage du chanvre, la cellulose externe est dissoute et donne à l'eau une coloration brune par suite de l'action d'une diastase sécrétée par un microbe, le bacillus amylobacter, le même qui travaille au fond des mares à la décomposition des végétaux immergés en produisant le méthane ou gaz des marais ; il pullule dans le tube digestif des herbivores, surtout dans la panse et le cœcum des ruminants. Les diastases qui existent dans la salive et dans le suc pancréatique dissolvent la cellulose ingérée comme aliments et sont des éléments essentiels de la digestion chez l'homme et les animaux ; enfin la diastase produite industriellement est un agent thérapeutique très employé dans les troubles digestifs.

La *gélification* de certaines celluloses à l'état ligneux s'obtient par l'action prolongée des diastases provenant soit des tissus végétaux, soit de la sécrétion des microbes.

D'après des expériences récentes, on a reconnu qu'un poids donné de diastase peut agir sur un poids d'hydrate de carbone des milliers de fois plus considérable et que l'action chimique est proportionnelle au temps et à la quantité de diastase employée. Cette loi est vraie dans les limites des expériences de laboratoire, c'est-à-dire au début de l'action.

En réalité, dans la nature, il faut en retenir seulement qu'une très faible quantité de diastase peut agir sur une quantité énorme de matière et que le temps est un facteur très important. A lui seul, le temps ne peut rien, malgré son caractère d'infiniment grand ; il faut avec lui un autre agent si petit qu'il

soit, mais il le faut d'une façon absolue. Dans la question présente, cet agent est une diastase.

D'après ce qui précède, on pressent déjà le rôle des ferments en général, dans les modifications physiques et chimiques nécessaires pour amener un entassement de végétaux à l'état de combustible minéral.

Mais à chaque époque géologique, il est des considérations spéciales qui permettent de dire que les ferments ont été plus ou moins intimement répartis et plus ou moins abondants et par conséquent d'expliquer l'état d'altération variée que l'on constate sur les végétaux d'origine. Les forces vitales que nous voyons à l'œuvre ne sont qu'un amoindrissement des mêmes forces primitives : il a été souvent constaté que les causes actuelles tout en dérivant du même principe que les causes anciennes s'en éloignent souvent sous le rapport de l'intensité.

### § 5. — ASSIMILATION DE LA FORMATION DE LA HOUILLE A LA FABRICATION DE L'ALCOOL

Les paragraphes précédents tendent à prouver que la formation des combustibles fossiles est due à l'action exercée sur la cellulose par les ferments solubles et les ferments vivants, lorsque cette action est limitée par l'intervention d'un agent antiseptique.

Avant d'attaquer le mode de formation de chaque espèce de combustible, il me reste à signaler en faveur de cette manière de voir, un argument important tiré de l'assimilation des phases de la fabrication de l'alcool au moyen des matières amylacées avec celles que l'on connaît de la formation houillère. Cette comparaison dont j'ai parlé au § 1 se trouve rejetée à celui-ci, parce qu'il m'était nécessaire avant tout de définir les ferments solubles, les ferments vivants, et les antiseptiques.

Tableau comparatif du processus  
des fermentations

Alcoolique

Houillère

MATIÈRES PREMIÈRES

Grains et pommes de terre renfermant des Hydrates de carbone  $C^*(HO)^*$  (amidon, fécule, cellulose) des matières azotées, grasses et diverses et des sels de végétation (azotates, phosphates, etc.) en dissolution dans l'eau.

Végétaux divers renfermant : des Hydrates de carbone  $C^*(HO)^*$  (cellulose, gomme, résines, chlorophylles) des matières azotées, grasses et diverses et des sels de végétation ; en outre des graines et des fruits renfermant des diastases abondantes, des micro-organismes et par suite des ferments.

MACÉRATION

Par la cuisson en vase clos, on réduit les matières premières en une bouillie que l'on traite par le malt : l'analyse (diastase de l'orge germée) agit en quelques heures sur les matières amylacées pour les liquéfier et les transformer en glucose ; à la température de  $60^\circ$  environ on obtient ainsi le moût glucosique (saccharification).

Les diastases contenues dans les fruits et les graines ou bien sécrétées par les microbes agissent à longeur de temps pour transformer les hydrates de carbone en une gelée humique qui est la base fondamentale de tous les combustibles fossiles ; la quantité de diastase a varié avec les époques géologiques.

FERMENTATION PROPREMENT DITE

Introduite dans le moût glucosique la levure de bière qui est une bactérie (saccharomyces Pastorianus) commence par se développer comme ferment aérobie dans un liquide aéré (levain). Ensuite elle devient anaérobie dans le moût et attaque le glucose qui se trouve décomposé en  $CO_2$  et en alcool. La fermentation s'arrête quand il n'y a plus de glucose dans le moût ou que l'alcool devient en excès et rend le milieu antiseptique.

Les nombreux ferments apportés par les végétaux prolifient et pullulent (aérobies) à la faveur de la macération précédente. Ensuite le milieu devenant anaérobie, ils dédoublent les hydrates de carbone en gaz (acide carbonique et grisou) et en hydrocarbures qui forment le combustible fossile. La fermentation s'arrête quand par suite des hydrocarbures produits, le milieu devient antiseptique.

DISTILLATION

Introduit dans les appareils distillatoires, le moût alcoolique donne des produits divers : l'alcool distillé à  $78^\circ$ , au-dessous et au-dessus de cette température en recueille des bases ammoniacales, des acides gras, des aldéhydes et des éthers.

A la température des cornues des usines à gaz, la houille donne du gaz d'éclairage, des eaux ammoniacales et du goudron : huiles légères, huiles lourdes et brai.



**Alcoolique**

**Houillère**

RÉSIDUS

Les résidus, autrement dit les flegmes, sont des eaux renfermant les sels de végétation et de la cellulose sous forme de pulpes et de drèches. Celles-ci carbonisées en vase clos donneraient pour résidu final du coke.

Le résidu de la distillation des combustibles dans les cornues des usines à gaz est du coke.

J'appelle spécialement sur la discussion de ce tableau inédit l'attention des personnes qui s'intéressent à la question générale des fermentations ou plus particulièrement des sous-produits provenant de la distillation des combustibles.

Du côté de la fermentation alcoolique, je n'ai inscrit que des réactions usitées chaque jour dans l'industrie : j'ajouterai que le distillateur peut à son gré modifier la durée des périodes de vie aérobie ou anaérobie, suivant qu'il veut produire en majorité de la levure pressée ou de l'alcool. Bien plus, au lieu de faire travailler comme ferment le saccharomyces *Pastorianus* ou *cerevisiae* (levure de bière), on a trouvé d'autres microbes qui donnent un rendement plus grand en alcool. Enfin, l'emploi de l'acide fluorhydrique dans l'acidification des moûts a permis de supprimer encore des pertes de fabrication : on est donc complètement maître du phénomène.

Du côté de la fermentation houillère, se trouve le grand problème de la transformation des végétaux en combustibles fossiles.

D'une part, l'étude microscopique des combustibles réduits en coupes minces faite par M. Renault ne laisse pas de doute sur la réalité d'une action dissolvante exercée par les bactéries sur certaines parties tendres des végétaux entassés les uns sur les autres et formant la matière première.

Les matières amylacées qui figurent en 1re ligne parmi les matières premières de la fabrication de l'alcool correspondent aux parties les plus altérables des végétaux de la formation houillère ; dans les deux cas, il y a eu d'abord préparation des matières premières, c'est-à-dire macération, puis fermentation caractérisée par un dégagement de gaz.

La distillation des combustibles et celle des moûts

alcooliques sont également bien connues dans leurs produits et dans leurs résidus ; l'alcool qui est le principal produit d'un côté, représente l'agent antiseptique de l'autre.

D'autre part, nous verrons dans l'étude de la formation de chaque combustible que certaines notions très simples de botanique et de géologie permettent d'établir la provenance et le rôle des ferments solubles ou vivants et de compléter le parallélisme des phases du tableau précédent.

Loin de ma pensée la prétention de vouloir expliquer complètement la formation des combustibles en identifiant les deux phénomènes. La fermentation houillère réclame d'autres diastases et d'autres microbes ; il y a seulement entre elle et la fermentation alcoolique un parallélisme indéniable dans l'ensemble et une analogie frappante dans les détails.

Cette assimilation qui, je tiens à le faire remarquer, n'est point une conception théorique, mais résulte de faits essentiellement pratiques, vient s'ajouter aux exemples que j'ai cités de végétaux transformés de diverses manières pour corroborer l'explication de la formation des combustibles fossiles par l'action des ferments sur la cellulose, et pour fournir une suite de réponses plausibles aux nombreuses questions posées au début de cette étude ; elles sont en effet implicitement contenues dans le tableau précédent.

Je pense que le lecteur qui aura bien voulu suivre les explications précédentes sur l'origine et le rôle des ferments et des antiseptiques, va se trouver en mesure de comprendre la marche générale de la formation des combustibles fossiles. Je me propose dans les paragraphes suivants de voir, dans chaque cas, si la suite des opérations industrielles peut s'appliquer à la formation naturelle des combustibles en faisant remarquer que le rôle des diastases, c'est-à-dire la limitation des actions des ferments solubles et des ferments vivants demeure incertaine ; ceux-ci peuvent-ils suppléer à l'absence de ceux-là, c'est ce que l'on ne saurait dire exactement ; il est certain que les ferments solubles sont les principaux agents de

la macération et facilitent la fermentation produite par les ferments vivants ; mais sont-ils absolument indispensables au moins pour un certain degré de transformation ? Ces réserves faites et commandées par l'état actuel de la science, j'étudierai dans le paragraphe suivant la formation de chaque espèce de combustible en particulier.

§ 6. — FORMATION DES HOUILLES PROPREMENT DITES : BOG-HEADS, CANNEL-COALS, SCHISTES BITUMINEUX, PÉTROLES, ASPHALTES.

Supposons, d'abord un amoncellement de végétaux de l'époque houillère entassés au fond de l'eau ou recouverts d'un commencement de sédiments détritiques encore meubles. On se représente aisément un pareil amas formé de végétaux à tissu médullaire, très développé, gorgés de sève, aplatis les uns sur les autres, entrecroisés dans toutes les directions, mais formant cependant une stratification grossière. Les paléobotanistes les rangent dans l'ordre des cryptogames vasculaires avec abondance de phanérogames gymnospermes ; les interstices étaient remplis de fragments végétaux de toute sorte avec des fruits, des graines et de nombreux végétaux cellulaires.

Or, à l'époque houillère, *il n'y avait pas de saisons* comparables aux nôtres ; une pareille masse de végétaux renfermait nécessairement des fructifications et des graines à l'état de maturité et par suite des diastases en abondance provenant surtout des phanérogames gymnospermes. Je ne parle point des gommés et des résines ayant pour but surtout de signaler l'action des ferments sur la cellulose ; cette matière étant de beaucoup la plus abondante, toute modification qui pourra l'atteindre devra imprimer au produit final un caractère prédominant.

La vie végétale à l'époque houillère était caractérisée par une exubérance qui ne connaissait pas d'arrêt, puisqu'il n'y avait pas de saisons ; elle se rapprochait de la vie animale en ce sens que la sève se renouvelait et circulait sans interruption.

Cette absence de saisons est démontrée par l'uniformité des plantes houillères trouvées sur toutes les parties du globe ; cette uniformité de la répartition végétale implique une uniformité de température qui venait peut-être de la prédominance des émanations de la chaleur centrale effaçant les variations atmosphériques extérieures ; cette hypothèse reprend une force nouvelle depuis qu'il est démontré que certains anthracites ne sont que des houilles métamorphosées ; on a dit aussi que cette uniformité de température venait de ce que l'axe du globe terrestre était moins incliné sur l'Ecliptique ou encore de ce que le globe solaire était plus dilaté qu'aujourd'hui. Enfin la composition variable de l'atmosphère terrestre en acide carbonique et en vapeur d'eau n'a pas été sans influence sur la dispersion et la répartition uniforme de la chaleur à la surface du globe.

Quoiqu'il en soit, la régularité d'une température chaude et humide explique bien l'abondance des ferments de toute sorte et leur égale répartition dans une masse de végétaux charriés pêle-mêle et empruntés à toute la flore existante.

Dans un pareil milieu imprégné d'eaux légèrement acidifiées par des chlorures et des fluorures, l'action des ferments en dissolution, gélifiant les celluloses, les amenant à l'état mucilagineux devait être active. C'est la période de *macération*. De plus, ces conditions sont essentiellement favorables au développement des végétaux cellulaires et par suite des ferments vivants dont l'origine a déjà été clairement démontrée.

Il y a des raisons de croire que la salure des mers et des grands lacs était plus faible qu'aujourd'hui, parce que le lessivage des pluies ne s'était encore exercé que sur des continents peu étendus et pendant un temps moins long, mais à coup sûr celle des lacs peu étendus et des estuaires était faible ; l'action antiseptique ne venant pas du milieu ambiant ne s'exerça donc pas dès le début de la formation et fut plus tardive.

On peut admettre sans erreur que, au début de l'enfouissement, la vie végétative ne s'arrêta pas su-

bitement dans les plantes et que les ferments vivants eux-mêmes, à la faveur de l'air dissous dans l'eau, purent vivre d'une existence aérobie ; ce fut le moment de leur développement maximum, ils pullulèrent dans toute la masse ; mais l'air dissous ou entraîné par adhérence aux végétaux ne tarda pas à disparaître totalement ou à être remplacé par de l'acide carbonique ; dès lors, les conditions du milieu devenant anaérobies, les microorganismes, en vertu de leur résistance à l'asphyxie, durent vivre aux dépens de la cellulose rendue assimilable par les diastases ; cette période est celle du dégagement de gaz riches en O et H, c'est-à-dire de la *fermentation* ayant pour conséquence un enrichissement de la masse en carbone.

Plus tard enfin les conditions du milieu favorables d'abord à la vie aérobie des ferments, puis à leur vie anaérobie, devinrent impraticables même aux microorganismes par suite de l'abondance des carbures produits, le milieu devenant antiseptique. Toute fermentation s'arrête d'elle-même lentement, soit que la proportion des produits ne soit plus compatible avec la vie de levure, soit que celle-ci ait épuisé toutes les matières assimilables ou bien encore que la température ait dépassé un certain degré.

Ce moment marque l'arrêt de toute modification ultérieure, quel que soit le temps écoulé, s'il ne survient aucune cause extérieure ; mais l'action simultanée des ferments solubles et vivants avait désagrégé les tissus, gélifié la cellulose et enrichi la masse en hydrocarbures et en carbone libre ; la carbonisation était faite, mais non encore la *houillification*.

Pendant les actions chimiques et microbiennes ci-dessus décrites, l'entassement des végétaux était en même temps soumis à une certaine pression des sédiments supérieurs, pression qui avait pour effet de faire pénétrer intimement la masse par les diastases, de régulariser la stratification d'abord grossière et d'achever la transformation en houille.

La grande solubilité des diastases et l'extrême division des ferments expliquent pourquoi si peu de tissus ont échappé à leur action qui s'est même fait

sentir sur des particules végétales très minces isolées au milieu des grès et des schistes ; ainsi s'explique la formation de certaines roches remarquables d'ailleurs à expliquer autrement.

#### SCHISTES BITUMINEUX, BOG-HEADS, CANNEL-COALS

Allons plus loin encore : les diastases en excès dans le cas des phanérogames gymnospermes principalement devaient former avec la cellulose une gelée végétale trop abondante dans certains cas pour rester emprisonnée dans la masse. Comme le jus du raisin sous l'action du pressoir, une partie devait quelquefois s'en séparer pour s'écouler ensuite par les points de moindre résistance, entraînant avec elles des particules hétérogènes de toute nature, et pour aller s'épancher sur les couches en formation en aval, sous forme de *bouillie végétale* ou d'*eaux brunes* chargées de matières humiques ; ~~elles~~ <sup>elles</sup> allaient ainsi se superposer soit à des dépôts de végétaux, soit à des dépôts sédimentaires et dans tous les cas étaient bien disposées pour recevoir et englober dans leur masse tous les matériaux en suspension dans l'eau. Ces matières elles-mêmes organiques ou minérales : poissons, corallolithes, algues, spores, grains de pollen, argiles impalpables, etc., n'étaient pas sans action sur cette gelée fondamentale et pouvaient lui communiquer des propriétés nouvelles.

Cette manière d'envisager la constitution de la gelée fondamentale n'est pas une simple hypothèse, une conception gratuite et dénuée de fondement, car les contournements si bizarres que l'on trouve dans la houille, les clivages eux-mêmes que l'on rencontre à chaque instant, même dans de petits fragments impliquent surtout pour la gelée fondamentale qui est ici seule en cause, un état pâteux primitif qui a pu aller jusqu'à la production de coulées sous forme de nappes d'épanchement au fond des eaux tranquilles.

Les grands fonds des océans actuels sont recouverts d'une couche d'argile impalpable, à plus forte raison, devait-il en être de même sur les aires des

dépôts houillers où se produisait indépendamment des sédiments réguliers une sorte de colmatage ou de limonage naturels dont les éléments étaient amenés par les courants d'eau ou par les vents. Cette théorie donne l'explication des boues charbonneuses solidifiées que l'on trouve intercalées parmi les bancs de houille, d'une façon trop logique et simple pour n'être pas l'expression de la vérité.

L'argile devait y tenir une grande place et son action sur la gelée pulpeuse issue des masses végétales en fermentation variait suivant que cette argile avait pris l'état colloïdal ou avait conservé ses propriétés absorbantes à l'égard des matières organiques liquéfiées. Il est à propos de faire remarquer ici que les argiles impalpables peuvent rester indéfiniment en suspension dans l'eau douce tandis qu'elles sont précipitées immédiatement dans l'eau salée : cette remarque trouvera son application plus tard, quand il s'agira de comparer la composition des sédiments lacustres avec celle des sédiments marins.

Outre les poussières argileuses ou arénacées, les vents amenaient à la surface des eaux une grande quantité de matières végétales légères : fleurs, feuilles, spores, grains de pollen qui, après imbibition, finissaient par gagner le fond de l'eau tranquille et s'incorporaient à la gelée fondamentale de même que certains microorganismes tels que les algues et les diatomées.

Suivant la topographie et le régime des vents d'une localité, ces matières végétales pouvaient se composer de certains organes des plantes riveraines à l'exclusion des autres. Enfin, les matières englobées par la gelée pouvaient être exclusivement animales : cartilages de poissons, écailles, coprolithes, etc., ce qui explique les différences nettes observées entre les bog-heads, les cannel-coals et les schistes bitumineux.

Arrivé en ce point de mon travail, il m'est impossible de ne pas me rappeler les belles études de plusieurs savants éminents, botanistes et géologues, sur les combustibles précédents qu'ils appellent simples, et le lecteur se sera déjà, comme moi, fait cette ré-

flexion qu'il est impossible de trouver ailleurs que dans la théorie précédente, un terrain mieux préparé pour recevoir les injections et les intercalations qu'ils nous ont décrites d'une manière si savante et si détaillée.

Dans une pareille masse formée d'éléments aussi altérables, les actions bactériennes devaient être intenses, aussi est-ce dans l'observation microscopique des *bog-heads* que l'on a aperçu pour la première fois les traces de bactériacées fossiles.

#### BITUMES

Parmi les inclusions naturelles découvertes dans ces variétés de combustibles se trouvent les bitumes qui sont aussi un produit de leur distillation industrielle. Ces bitumes dûs à des actions microbiennes spéciales se trouvent condensés sur les surfaces de retrait des clivages ou des géodes. Quelquefois leur production a été si abondante qu'ils ont pu s'épancher sous forme de larmes, de gouttes ou de perles.

#### PÉTROLES, ASPHALTES

Comme leur densité est comprise entre 0, 7 et 1, 20, ils devaient tendre à se séparer de la masse pour aller se déposer ailleurs et si leur formation était active, nous trouvons là, sans élévation anormale de température, sans distillation, par l'effet seul du travail bactérien et de la différence de densité, un mode particulier de l'origine des pétroles et des asphaltes qui se trouvent aussi rentrer dans la catégorie générale des combustibles fossiles.

\*  
\* \*

Telle est sans doute, l'origine des *cannel-coals*, des *bog-heads*, des schistes bitumineux et des bitumes (pétroles, asphaltes), car cette explication concorde bien avec la position sédimentaire des variétés indiquées et avec leur composition microscopique dans laquelle on trouve des matières hétérogènes et n'ayant aucune similitude sous le rapport de l'équivalence hydraulique, c'est-à-dire que ces matières n'ont pu cheminer longtemps ensemble sous l'action d'un courant



d'eau et que si on les retrouve associés en un point, elles ont dû y arriver par des voies différentes. J'ajouterai que, jusqu'à présent, dans la pratique des mines il m'a semblé que les variétés de combustibles dont je viens de parler accompagnent surtout les gisements puissants de houille grasse et se trouvent en moindre proportion dans les anthracites, les houilles maigres et les lignites. Le champ est ouvert à d'intéressantes recherches.

Si elles confirmaient l'observation précédente, il en résulterait que, si on trouve à l'état d'isolement les variétés susdites, ce serait une invitation pour rechercher en amont les masses d'où elles sont issues, à moins que ces dernières n'aient été démantelées par les érosions ou déplacées par des failles.

Cette théorie peut encore nous donner une idée du temps qu'il a fallu pour houillifier une masse de végétaux. Si on se reporte aux opérations industrielles, il faudrait un temps très court, mais dans la nature les diastases étant parcimonieusement réparties ou dissoutes dans une grande quantité d'eau, la longueur du temps a dû intervenir.

Or, dès lors que l'on trouve au milieu des grès des tas assez volumineux de végétaux convertis en houille sans que ces grès présentent de vides ou de tassements apparents, il faut bien admettre que la conversion en houille s'est opérée d'une manière complète pendant le temps que les grès étaient encore à l'état de sable.

Plusieurs accidents importants de stratification observés dans quelques houillères, conduisent à la même conclusion : une couche de houille de plusieurs mètres d'épaisseur s'est formée et était déjà arrivée à l'état pâteux pendant le temps nécessaire pour former un dépôt de sable de 30 à 40 mètres d'épaisseur. Plus tard ces sédiments ont continué d'agir par pression, mais la transformation principale était déjà produite. Le temps et la pression nécessaires pour former de la houille ne sont donc pas considérables.

Quant à la température, elle a dû s'écarter peu de 60° qui est la température optima pour l'action des

diastases ; nous avons vu que ces substances sont détruites à 75°.

## FORMATION DES ANTHRACITES

Commettant un anachronisme voulu, j'ai parlé des houilles avant de décrire les anthracites parce que ceux-ci peuvent être considérés comme une variété des premières, variété où l'origine végétale est bien moins visible ; leur structure est plus homogène, leur densité est de 2,00, au lieu de 1,25 ; malgré cela, ils sont plus friables ; la composition intime est donc différente bien que les circonstances de la formation soient les mêmes.

On trouve, en effet, les anthracites surtout à la base du terrain houiller ; les végétaux qui les ont formés sont surtout des cryptogames vasculaires beaucoup moins riches en diastases et en sécrétions de toute sorte que les végétaux supérieurs ; cependant, les végétaux plus mous, moins fibreux, demandaient un travail de gélification moins considérable et les substances transformatrices, bien réparties dans une masse plus compacte, ont suffi pour la carbonisation complète avec l'aide du temps. La carbonisation a été plus complète qu'avec la houille parce que l'antiseptie est intervenue plus tardivement. Les végétaux d'origine étaient aussi moins chargés en cendres, ainsi s'explique la différence de constitution entre les anthracites et les houilles. Il ne paraît pas y avoir eu de différence bien grande entre la fermentation houillère et la fermentation anthraciteuse, sauf que celle-ci a été peut-être plus lente, mais sûrement plus complète.

Comme à l'époque des houilles, la salure des eaux à l'époque des anthracites était faible ; il ne faut donc pas invoquer leur antiseptie ; pour expliquer l'arrêt de la décomposition bactérienne, il faut donc admettre que l'antiseptie a été produite par ce travail lui-même. Nous verrons à propos des tourbes une preuve directe que les eaux ambiantes acquièrent leur

propriété antiseptique par l'acide tannique produit dans la décomposition bactérienne.

Certains anthracites qui ne sont autre chose que des houilles métamorphosées ne trouvent pas place dans cette étude. Leur métamorphisme, exercé sur une grande surface, prouve seulement que la chaleur produite avait une grande intensité et pouvait agir sur la température moyenne extérieure.

### FORMATION DES LIGNITES

Les lignites renferment en moyenne 75 % de carbone, la houille et les anthracites en renferment beaucoup plus ; cependant le point de départ est le même : la cellulose qui, sèche, renferme un peu moins de 50 % de carbone ; il faut donc que les agents de transformation soient différents ou aient opéré d'une manière différente.

En premier lieu, parmi les végétaux qui ont formé les lignites, les espèces actuelles sont en majorité ; or, celles-ci renferment d'abondantes diastases dans leurs fruits et dans leurs graines ; il semblerait donc que la gélification des celluloses aurait dû être complète. Il n'en est rien, la structure est moins homogène, le tissu ligneux reste apparent en beaucoup plus de points que dans les combustibles précédents. Cette anomalie qui semble devoir mettre en déroute la théorie des diastases, en est au contraire une confirmation éclatante : il ne faut pas oublier, en effet, qu'un intervalle de temps énorme nous sépare de l'époque houillère : *il y a désormais des saisons* : les fructifications et les graines, principales sources des diastases, sont beaucoup moins abondantes et moins bien réparties qu'aux époques primitives ; les tissus ligneux sont beaucoup plus développés ; enfin, question importante sur laquelle je reviendrai plus loin, les microbes sont-ils les mêmes ?

On constate dans la structure et la composition des lignites beaucoup plus de différences que dans celle des houilles ; les causes d'altération ont été beaucoup plus variables tout en conservant la même nature. Il y a de grandes différences dans l'action

des ferments d'abord et dans celle des antiseptiques ensuite.

Pour les ferments, je viens d'en donner la raison qui s'étend aussi aux antiseptiques puisque ceux-ci sont une conséquence de la vie des ferments ; mais il y a une autre raison qui a varié suivant les localités.

La salure moyenne des mers et des grands lacs a augmenté notablement depuis l'époque houillère, il y eut même des époques et des circonstances locales où cette salure fut suffisante pour donner lieu à des dépôts de sel gemme ; il y a donc des lignites qui se sont formés dans des milieux nettement antiseptiques, tels que les mers actuelles et d'autres dans les eaux relativement douces, de là la différence de conservation des tissus et la différence de carbonisation.

Tantôt le cas des lignites se rapproche de celui des bois des constructions navales ou des forêts englouties sous les sables de la mer dont j'ai parlé plus haut, tantôt il se rapproche davantage de celui des houilles.

En somme, les conditions de la formation des lignites ont été beaucoup plus variables que celles des houilles, comme on l'a vu plus haut, et plus variables aussi que celles des tourbes comme on le verra plus bas ; le développement des microorganismes trouvait généralement un milieu moins favorable ; aussi bien qu'on doive admettre les mêmes périodes de vie aérobie et de vie anaérobie, la gélification et la fermentation ont été moins complètes ; la structure organique, non détruite par les diastases, est visible en un plus grand nombre de points ; le dégagement des gaz et la carbonisation qui en résulte ont été également moindres.

## FORMATION DES TOURBES

Les tourbes renferment encore moins de carbone que les lignites ; le mode d'action des ferments et des antiseptiques a donc encore une fois varié ; d'abord, les végétaux ne sont plus les mêmes.

En effet, les tourbes sont formées presque exclusivement de végétaux cellulaires de la classe des mousses. Leurs éléments sont à peine comprimés et

consistent en débris végétaux plus ou moins altérés, mais visiblement organisés que réunit une substance amorphe ; ici, les ferments solubles, provenant des graines ou d'organes de réserves, font peut-être absolument défaut ; les diastases sont réduites à celles qui sont sécrétées par les ferments vivants ; aussi, quoique ceux-ci restent abondamment répandus dans le sol et les eaux, la structure organique reste presque partout visible.

Dans le cas des tourbes, les eaux ambiantes n'étaient pas ordinairement chargées de sels antiseptiques ; cependant on a des preuves directes que les tourbes renferment de l'acide tannique qui est un agent conservateur des substances organiques au plus haut degré ; il provient donc de l'action bactérienne et se manifeste dès son début.

Les conditions de la formation des tourbières diffèrent de celles des autres combustibles en ce que la transformation des végétaux se fait « in situ », sur le lieu et dans la position même de leur croissance et sous les eaux. Cette circonstance qui entraîne une certaine uniformité de température les rapproche des conditions houillères dont elles s'éloignent par le manque de ferments solubles et la rapidité de l'intervention antiseptique.

On peut se demander s'il s'est formé des tourbes de l'époque houillère ; les végétaux constitutifs existaient et pouvaient se développer de la même façon ; mais il est probable que le régime des eaux soumises à des crues subites occasionnait des érosions, des ravine-ments et n'a pas permis aux tourbes anciennes de subsister en place ; elles ont été sans doute démantelées et leurs débris mêlés aux sédiments.

Il n'est pas sans intérêt de remarquer que la formation des tourbes ne demande pas de macération préalable par les ferments solubles et qu'on ne peut songer à faire effectuer cette macération dans un endroit différent de celui qu'elles occupent. Pourquoi donc serait-il absolument nécessaire que les autres combustibles aient macéré dans un endroit autre que celui où ils ont atteint leur état ~~primitif~~ *definitif* ?

*en tout cas*

## § 7. -- MODIFICATIONS CHIMIQUES DE LA CELLULOSE

Jusqu'à présent dans tout ce qui précède, je n'ai fait qu'effleurer la question des modifications de composition chimique nécessaires pour passer de l'état de cellulose organisée à celui de combustible minéral. J'ai montré qu'elle était l'origine du ciment mystérieux qui relie entre elles les parcelles végétales et qui donne aux combustibles minéraux leur aspect amorphe. J'ai expliqué ce qu'il fallait entendre par cette bouillie végétale, ces eaux brunes chargées de matières humiques, cette gelée fondamentale dont on trouve partout la trace. J'en ai déduit la formation des cannel-coals, des bog-heads et des schistes bitumineux. Enfin j'ai expliqué le rôle capital des antiseptiques provenant du milieu ambiant ou de l'action bactérienne elle-même.

Je pense que ces explications satisfont l'esprit au point de vue de la modification physique, mais elles sont encore insuffisantes pour expliquer les modifications chimiques nécessaires.

On connaît de nombreux produits chimiques à base de cellulose : le viscoïde, le celluloid, le fulmicoton, etc., obtenus par l'action des alcalis ou des acides dans des conditions bien déterminées. L'action des ferments est <sup>x</sup> bien connue : là est cependant la clef de la formation des combustibles fossiles.

Comment, en effet, passer de la cellulose sèche dont la teneur en carbone n'atteint pas 50 pour cent à celle des tourbes, 65 pour cent, à celle des lignites, 75 pour cent et à celle des houilles et des anthracites, 90 et 95 pour cent.

La cellulose a sensiblement la même teneur en carbone dans toute l'étendue de l'échelle végétale; qu'elle provienne des mousses ou des bois, le point de départ est le même, mais les points d'arrivée sont bien différents comme nous venons de le voir. Il est clair que les modifications physiques et chimiques ont été si-

multanées et si j'ai semblé les séparer, ce n'est que pour la commodité du raisonnement.

On explique avec raison l'enrichissement en carbone par la fermentation, c'est-à-dire l'action des microorganismes sur la cellulose ou la gelée fondamentale. Les microbes pendant leur vie anaérobie, résistant à l'asphyxie attaquent la matière organique et en provoquent le dédoublement par l'action de leur force vitale ; il se dégage de l'acide carbonique et du formène ; il y a élimination de l'oxygène et de l'hydrogène, et comme résidu il reste un mélange de carbone libre et de produits carburés qui est la houille.

Sans doute, cette explication est logique et doit être vraie, mais il n'en est pas moins vrai également que, dans le laboratoire, on n'a pas encore pu produire un enrichissement de la cellulose qui approche même de la tourbe. On a pu gélifier la cellulose par l'action prolongée des diastases, mais on n'a pas pu encore la carboniser par l'action des microbes connus.

La difficulté est donc considérable et ne sera levée que le jour où l'on aura réussi à fabriquer de la houille avec de la cellulose accompagnée si l'on veut de gommés, résines, etc., en faisant digérer ce mélange par une diastase, le faisant fermenter ensuite par un microbe encore inconnu ; si le résidu comprimé jusqu'à la densité de 1,25 a la teneur en carbone de la houille, le problème sera résolu : la synthèse de la houille sera un fait accompli.

L'industrie des alcools nous présente d'ailleurs un exemple d'enrichissement en carbone qui vient encore corroborer l'assimilation que j'ai faite au § 5 entre cette fabrication et la formation des combustibles fossiles. En effet, pour faire de l'alcool on part d'une matière amylacée (amidon ou fécule), renfermant 42 pour cent de carbone : on la traite par le malt dont la partie active est l'amylase, une des diastases de l'orge germée, pour former du glucose sur lequel on fait agir ensuite la levure de bière. Ce ferment se multiplie d'abord dans sa période de vie aérobie ; puis dans sa période anaérobie, il dédouble le glucose en acide carbonique qui se dégage et en alcool qui reste dans le moût ; or, l'alcool renferme 52

pour cent de carbone ; nous sommes encore loin de compte, même pour la tourbe ; mais enfin, il se produit une action dans le même sens.

La cellulose qui a formé l'antracite renfermait 50 pour cent de carbone, l'antracite en renferme 95. L'enrichissement produit par le microbe inconnu de l'antracite est 45 pour cent. Il peut donc se faire que tôt ou tard on arrive à trouver pour chaque combustible les conditions du travail bactérien qui ont présidé à sa formation.

Aucun des microbes connus n'est capable d'une pareille transformation de la cellulose. Quelle est donc l'espèce de microbes qui peut accomplir cette tâche ? Est-ce une espèce éteinte, est-ce une espèce actuelle travaillant dans d'autres conditions que celles que nous lui offrons dans les laboratoires ? Nous ne le savons pas encore.

Il me semble établi que les ferments de l'époque houillère étaient plus abondants et mieux répartis dans une masse de végétaux qu'ils ne le peuvent être aujourd'hui. Est-il déraisonnable d'invoquer encore pour eux une activité plus grande leur permettant de réaliser l'enrichissement en carbone qui serait la justification complète de la théorie des ferments ? Je ne le crois pas, parce que les conditions climatiques, la pression atmosphérique principalement, étaient bien différentes de celles d'aujourd'hui. Les microorganismes n'agissent pas dans tous les pays avec la même intensité, même actuellement, ni sous toutes les latitudes. Pendant la construction du chemin de fer du Congo belge, n'a-t-on pas dû renoncer à l'emploi des traverses en bois, même sulfatées, pour leur substituer des traverses en fer, parce que les premières étaient détruites en quelques semaines, tandis qu'en Europe elles résistent plusieurs années à l'action destructive des animalcules et des microbes.

## § 8. -- CONCLUSIONS

Des considérations précédentes, il me paraît logique de tirer les conclusions suivantes :



Les facteurs principaux de la transformation des végétaux en combustibles fossiles sont : les ferments solubles, les ferments vivants et les antiseptiques.

Les deux premiers sont des agents de transformation, le troisième est un agent de conservation ; les ferments solubles ne sont peut-être pas indispensables pour obtenir un certain degré de carbonisation, exemple la tourbe ; mais quand ils existent, ils développent beaucoup la macération, c'est-à-dire la formation de la matière fondamentale pulpeuse. Les ferments vivants sont les agents de la fermentation et par suite de la carbonisation ; enfin, les antiseptiques sont indispensables pour limiter la transformation en gaz et sauver de la destruction complète une partie de l'accumulation végétale.

A l'époque des anthracites, les ferments vivants ont produit le maximum d'effet reconnu, puisque le carbone atteint quelquefois 95 % dans le combustible.

A l'époque des houilles, ce sont les ferments solubles qui donnent au produit son caractère prédominant ; c'est à l'abondance de la gelée végétale que l'on doit les bog-heads, les cannel-coals et les bitumes en général.

A l'époque des lignites, il y a des variations considérables dans l'action des agents ; tantôt l'un, tantôt l'autre prédomine. L'antiseptie du milieu ambiant intervient quelquefois, comme dans les mers actuelles pour déterminer la formation des lignites *xyloïdes*.

Enfin, dans la formation des tourbières, il n'y a pas apparence de ferments solubles ; il y a abondance de ferments vivants, mais leur action est rapidement modifiée par l'antiseptique qu'ils produisent eux-mêmes.

Donc, dans le cas le plus général, celui des houilles, le processus de la formation des combustibles minéraux est diastasique et microbien ; c'est-à-dire que l'action des diastases correspond à la « macération » (sans qu'il soit possible de dire si ce travail appartient exclusivement aux diastases des ferments solubles ou des sécrétions microbiennes) et que l'action proprement dite des microbes correspond à la

« fermentation » . Cette période se divise elle-même en deux, correspondant l'une à la vie aérobie pendant laquelle les microbes prolifient et pullulent produisant une oxydation générale de la masse, l'autre à la vie anaérobie pendant laquelle se produit le dédoublement de la cellulose en gaz oxygénés et hydrogénés qui se dégagent et en hydrocarbures qui finissent par arrêter l'action bactérienne elle-même ; le dégagement de gaz produit un enrichissement en carbone dans le résidu qui est le combustible fossile.

Les variétés de combustibles s'expliquent par les variétés de sécrétions végétales et surtout par l'abondance plus ou moins grande des ferments solubles ou vivants et quelquefois dans les lignites par l'antiseptie plus ou moins grande du milieu.

Le ciment, autrement dit la matière pulpeuse observée dans tous les végétaux, est le résultat de la macération.

Les ferments vivants, ai-je dit, arrivés à l'état anaérobie, ont réagi sur la masse de végétaux déjà modifiés par l'action des ferments solubles pour les dédoubler en gaz qui se sont dégagés à travers les sédiments du toit des couches et en hydrocarbures qui ont formé la houille. Or, les matières volatiles que renferme un charbon dépendent des hydrocarbures ; elles ne semblent donc nullement liées à la profondeur ou à la pression, mais bien à la nature des végétaux et des microbes.

Quant aux gaz dégagés (grisou ou acide carbonique) ils dépendent également des sécrétions végétales et surtout des microbes. Mais on comprend que l'imperméabilité plus ou moins grande des sédiments combinés à la pression, ait pu les retenir en plus ou moins grande quantité dans la houille ou dans le toit des couches de houille.

Il n'est pas nécessaire que les végétaux aient subi, avant leur enfouissement, aucune action physique ou chimique autres que celles qui ont pu se produire pendant le charriage, puisqu'ils apportent avec eux tous les éléments nécessaires à leur transformation ; cependant une certaine préparation a pu avoir lieu quelquefois. La formation de la houille n'est pas né-

cessairement antérieure à son enfouissement ; elle a ordinairement acquis sa composition chimique définitive après que les végétaux ont été, suivant l'expression de M. de Lapparent incorporés aux sédiments.

Il n'est pas nécessaire non plus de faire intervenir aucun agent extérieur à partir du moment où ils se sont trouvés enfouis. Cela ne veut pas dire que dans certains cas, il ne se soit pas produit des influences extérieures. Ces influences ont même été démontrées accidentellement.

La pression n'a pas été considérable et la température a dû se maintenir aux environs de 60°.

Enfin, chaque combustible est arrivé à un état indéfiniment stationnaire au bout d'un certain temps, une fois les diastases épuisées et les microbes éteints.

Sauf intervention extérieure, la tourbe arrivée à son dernier terme restera éternellement de la tourbe ; les lignites n'atteindront jamais l'état de houille, ni celle-ci l'état d'anthracites. De l'état végétal l'accumulation de végétaux est passée à l'état minéral : le temps a accompli son œuvre et cet agent désormais seul en présence de matières inertes, au milieu des autres dépôts sédimentaires ne peut plus exercer sur elles aucune modification en dépit de son immensité.

En résumé, la cause de la transformation des végétaux en combustibles fossiles demeure la même à toutes les époques, c'est l'action des ferments sur la cellulose ; son essence est invariable ; sa modalité seule a varié à travers les âges et c'est cette modalité qui nous a donné successivement les anthracites, les houilles, les lignites et les tourbes, d'une manière générale, sauf quelques interventions facilement explicables d'ailleurs.

J'ai fait voir à la fin du paragraphe 7 pourquoi la synthèse de la houille par voie diastasique et microbienne n'était pas encore un fait accompli.

J'ai donc répondu à toutes les questions posées au commencement de ce mémoire ; une dernière remarque à faire, c'est que dans la formation des couches de houille, il faut distinguer la formation des couches et la formation de la houille, c'est-à-dire

la question stratigraphique et la question chimique. Celle-ci, quoique la dernière venue, est en voie de progrès à cause des découvertes de la microbiologie ; aussi peut-elle venir maintenant au secours de la première.

La question chimique fera des progrès rapides, son essence étant connue, parce que les lois de chimie sont les mêmes éternellement, partout et toujours : telle que je l'ai exposée elle n'est qu'un chapitre de plus à ajouter aux causes actuelles.

Au contraire, la nature a-t-elle toujours employé le même procédé mécanique pour former une couche ? assurément non.

Il me semble désormais acquis que la question stratigraphique pour être complète doit tenir compte des matières qui peuvent s'échapper d'une masse de végétaux en fermentation, et de celles qui sont produites par des précipitations chimiques ou amenées par les vents à la surface des eaux ; autrement on s'exposerait à laisser de côté toute une catégorie importante comprenant les schistes bitumineux et les sédiments analogues.

Le présent mémoire pour exposer la question dans toute son étendue devrait donc comprendre une seconde partie : « Formation des couches de combustibles fossiles », faisant suite à cet « Essai sur le rôle des ferments », qui explique la formation des combustibles.

Sans doute il serait intéressant d'expliquer de suite la différence d'allure et de composition qui existe entre les sédiments lacustres et les sédiments marins et de faire voir, par exemple, que lorsque les ridements de l'écorce terrestre qui sont les causes génératrices des bassins houillers, viennent à jouer de nouveau leur action sur le niveau des eaux et par suite sur la sédimentation ~~celle-ci~~ est totalement différente suivant que ces mouvements intermittents affectent le fond d'un lac d'étendue limitée, ou bien celui d'un estuaire communiquant avec une masse d'eau en quelque sorte indéfinie ; mais cette étude serait prématurée, il importe de laisser s'achever celles qui sont commencées.

La solution complète de la question houillère demande le concours de la mécanique sédimentaire, de la chimie, de la microbiologie et des sciences naturelles. Or, pendant que les uns étudient le charriage des parcelles ou des masses houillères, d'autres provoquent des actions chimiques et microbiennes ou essayent de classer la flore et la faune aquatiques suivant la profondeur d'eau où elles vivent.

De plus, des études récentes sur l'analyse lithologique des sols sous-marins nous font entrevoir un avenir moins obscur où l'Océanographie, dit M. Thoulet, (Annales des Mines, 4e livraison, 1900, page 430), en comparant les phénomènes actuels, convenablement élucidés et mesurés, aux phénomènes anciens, aura fourni à la géologie historique des documents précis, qui lui ont, jusqu'à présent, trop souvent fait défaut. Peut-être alors, sera-t-on en mesure, étant donné un sédiment géologique, maintenant exondé, de déterminer la profondeur et les détails géographiques de la mer ancienne sur le lit de laquelle il s'est déposé.

Je ne puis donc, pour le moment, que m'associer sincèrement à ces magnifiques espérances, heureux si mes explications, peut-être trop sommaires, ont cependant contribué à fixer les idées du lecteur sur les préliminaires de ces difficiles questions.

Montvicq, 17 août 1900.

L. LEMIERE.

*Voir la 2<sup>e</sup> Partie (Formation de Couches)  
dans les Comptes rendus ci-joints :  
Profils Sedimentaires.*

---

Sec. An. des Imp. Techn, FRANCIS LAUR, 8, r. du Débarcadère, Paris

---



