

CONFÉRENCES
SUR LES
CHARBONS DE TERRE

DEUXIÈME CONFÉRENCE

FAITE A LA

Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie

LE 19 OCTOBRE 1897

PAR

le D^r C.-E. Bertrand

Professeur à la Faculté des Sciences de Lille.

Charbons humiques et Charbons de purins.

MESSIEURS,

Dans une première conférence, qui date de loin déjà (1), je vous ai montré qu'il y a des *charbons d'algues*, c'est-à-dire des accumulations de matières organiques produites par l'empilement de végétaux inférieurs semblables à ceux qui flottent dans l'eau superficielle de nos mares et de nos lacs. J'établissais ainsi pour la première fois d'une façon satisfaisante le rôle des infiniment petits dans la formation des roches charbonneuses. Je vous donnais la première justification expérimentale de cette remarque : qu'aux variantes d'aspect que l'industrie minière sait reconnaître dans les charbons, correspondent des diffé-

(1) *Les bogheads à algues*. — Conférence faite à la Société belge de Géologie, le 30 mai 1893. (Voir *Bull. Soc. belge de géol.*, t. VII, Mém., pp. 45-81, pl. IV et V.)

rences de structure de ces charbons, et par suite des différences dans leurs modes de genèse. C'est dans ces indications qu'il faut aller chercher maintenant les caractéristiques de chaque classe de charbons.

Les charbons d'algues nous ont appris que des accumulations végétales se sont faites avec une rapidité prodigieuse, sans forêts et sans transports. J'ai pu dire qu'il a suffi de quelques belles journées pour amener le développement des fleurs d'eau dans la couche superficielle des eaux génératrices d'un charbon. J'ai pu dire qu'une couche d'algues de 5 mètres d'épaisseur, comme celle qui a donné le *kerosene shale* de la Nouvelle-Galles, s'était produite en une seule saison *au temps des basses eaux*, c'est-à-dire dans une période extraordinairement courte. L'existence d'algues flottantes et leur accumulation rapide près de la surface de l'eau, voilà les deux faits que je m'étais appliqué à mettre en relief dans ma première causerie.

Un autre fait se dégageait encore de la présence des algues dans ces charbons : c'est que, contrairement à toutes les prévisions, la conservation d'organismes aussi délicats et aussi sensibles à l'action des fermentations que le sont nos algues, était, dans certaines conditions, un fait régulier et normal. Il est reconnu maintenant que c'était là un mode courant de fossilisation. Il a donné une première catégorie de corps jaunes. Si les exemples de *bogheads* ou véritables charbons d'algues restent peu nombreux, les charbons contenant des algues, mais dans lesquels la gélose de celles-ci n'est plus l'élément dominant, deviennent plus nombreux à mesure qu'on étudie de nouveaux *cannels coals*.

A côté de ces faits principaux, je signalais des résultats moins importants : — Dans les charbons d'algues, il y a une gelée brune amorphe qui englobe les algues. — Il y a aussi une imprégnation bitumineuse. — L'arrivée du bitume a été tardive dans les trois charbons dont j'ai parlé. — La gelée brune ne manque dans aucun charbon organique ; elle se retrouve dans les schistes organiques dont elle forme la trame. Elle ne disparaît que dans la *classe des bitumes*. — Quelle que soit sa puissance, une couche de charbon d'algues n'est qu'un incident au cours de la formation schisteuse où elle est enfermée. Tant qu'on trouve l'algue dans le schiste, l'incident peut se reproduire. — Pendant ces périodes si tranquilles, il se produisait des *pluies de soufre*, c'est-à-dire d'abondantes chutes de poussières végétales, spores et grains de pollen, que le vent apportait sur les mares anthracigènes. Ces poussières végétales non humifiées étaient englobées par la gelée fondamentale avec les algues pélagiques. Ces corps de nature cellulosique donnent une seconde catégorie de corps jaunes.

Depuis, j'ai été amené à mettre plus en relief, d'une part la nature chimique de la substance formatrice des charbons d'algues, et d'autre part l'intervention du bitume.

La matière dominante des charbons d'algues, celle qui forme la plus grande partie de leur volume et qui leur donne leurs principales caractéristiques, est la *gélose*. Par là les charbons d'algues, les *bogheads* de l'industrie, méritent le nom de *charbons gélosiques*. En devenant substratum de carbures d'hydrogène, chaque globule de gélose a donné un corps jaune, transparent, à cassure vitreuse. Dès lors un *boghead* est un charbon caractérisé par la prédominance de ces corps jaunes. Ceux-ci sont d'origine gélosique, ce qui leur a permis de retenir certains carbures plus éclairants. Ces charbons ont une cassure verticale satinée, chaque masse vitreuse étant séparée de ses voisines par un mince filet de charbon plus terne, dérivé de la gelée fondamentale (1).

La contraction de la gélose a été faible : 2.6 à 4.0 sur la verticale et 1.5 à 2.6 horizontalement. Soit une condensation comprise entre 7 et 24. Comme la gélose des algues vivantes est extraordinairement chargée d'eau, puisqu'elle ne contient guère que 0,015 de matière sèche (2), nous sommes conduits à cette autre notion, qui me paraît capitale dans l'histoire des charbons, à savoir que la *gélose d'un thalle n'a pas fourni à elle seule la totalité du carbone et de l'hydrogène que nous trouvons solidifiés dans le corps jaune donné par ce thalle. Il y a eu enrichissement de ce corps par des matières hydrocarbonées venant du dehors*. Bien plus, je suis amené à dire que si l'algue apporte sa contribution au *boghead*, c'est surtout comme support condensant et retenant les carbures amenés par l'injection bitumineuse. Nulle part, en effet, dans le *boghead*, nous ne voyons l'algue en destruction donnant des carbures. On voit, au contraire, nettement l'injection bitumineuse dans les trois exemples que j'ai décrits. Le fait est tout particulièrement facile à constater dans les nodules siliceux du *boghead* d'Autun.

Dans les conditions ordinaires de la production des charbons gélosiques, les phénomènes qui donnent naissance aux diverses variétés de charbons qu'on voit associées dans les houilles, sont réguliers et nor-

(1) Cet aspect macroscopique d'un charbon d'algues est celui d'un *boghead* dont la charge en matières minérales tardives est faible. Lorsque cette charge s'élève, le *boghead* prend l'aspect d'un schiste organique.

(2) Sur 1,000 parties de matière vivante, le *Gleotrichia natans*, une algue gélatineuse submergée, contient 15 parties de matière sèche et 985 parties d'eau. Le *Nostoc commune*, algue particulièrement consistante qui vit sur la terre humide, renferme 30 parties de matière sèche et 970 parties d'eau.

maux. Ainsi nous avons trouvé dans nos trois *bogheads* des lames de charbon brillant craquelé, des fusains, du charbon terne, du charbon vitreux, etc. (1).

Les charbons dont je vous parlerai aujourd'hui nous donnent une notion nouvelle, celle de *charbons amorphes*, non pas de charbons rendus amorphes parce que la structure des organismes y a été effacée par une trituration intense ou par un état de pourriture très avancée, mais de charbons amorphes parce que les corps organisés ne participent pas directement à leur formation d'une façon sensible. La première classe, celle des *charbons humiques*, est produite par des accumulations de cette gelée brune qui constitue la trame des schistes organiques. C'est une sorte de précipité gélatineux qui a fait prise. Les corps organisés, toujours admirablement conservés, ne s'y ajoutent que dans une proportion insignifiante. La seconde classe, celle des *charbons de purins*, diffère des charbons humiques parce qu'à la gelée brune s'est incorporée une quantité notable de produits stercoraux (2).

Je conserverai le mode d'exposition qui m'a si bien réussi dans ma

(1) J'emploie à peu près la terminologie que le professeur C. W. VON GÜMBEL a adoptée dans son beau mémoire intitulé : *Beiträge z. Kenn. d. Texturverhältnisse d. Mineralkohlen*. München, 1883.

(2) On établira peut-être, par de nouvelles recherches, que la gelée brune des charbons humiques est due au travail de ces végétaux infiniment petits que l'on appelle des *bactéries*. Tous ces charbons contiennent en effet des corps bactériiformes. Je ne suis pas parvenu à établir, pour les charbons que je vais étudier, si leurs corps bactérioides sont des restes de bactéries, ou si ce sont des inclusions sans substratum organisé. Cet échec m'impose de m'abstenir de toute conclusion sur ce point. Je ne puis oublier l'exemple des Pilas de la Torbanite. Des carbures d'hydrogène, localisés sur un substratum organique très compliqué, ont été pris par d'habiles observateurs pour de simples amas cristallins. Je me tiens en garde contre une conclusion hâtive aussi bien dans le sens d'organismes figurés, que dans le sens d'inclusions sans substratum organisé. Pour ces très petits corps bactériiformes, l'observation est particulièrement difficile. — Si l'on établit que les corps bactérioides sont des dépouilles de bactéries, il serait possible alors que la gelée brune eût été produite par l'activité de ces organismes. Ce serait un nouvel exemple de l'intervention des infiniment petits dans la formation des roches charbonneuses. Ce résultat marquerait, je crois, l'aurore de recherches nouvelles sur la Géogénie de certaines roches sédimentaires. Les calcaires et les argiles contiennent des corps bactériiformes très semblables à ceux des roches charbonneuses. Ils y sont regardés comme des inclusions sans substratum organisé. D'autre part, on ne doit pas oublier que les roches charbonneuses sont parmi celles qui contiennent le plus de gaz libres. Le charbon de Saint-Éloy laisse échapper 6.94 de son volume de gaz libres. Il est extraordinairement riche en corps bactérioides.

conférence sur les *bogheads*. Pour vous faire comprendre les charbons humiques, je vous décrirai quelques exemples. Cette méthode a l'avantage de permettre le contrôle immédiat des faits que je signale sur un exemple précis. Cet exemple sert ultérieurement de type à une classe de charbons ou à une subdivision de cette classe. Il est facile d'en dégager ensuite les caractéristiques des groupes charbonneux, celles de leurs modifications secondaires, et de déterminer la valeur de ces modifications.

De même que l'industrie minière sait distinguer les charbons d'algues qu'elle appelle des *bogheads*, elle connaît très bien les charbons humiques. Les mineurs les appellent le *schiste* ou le *bon schiste*, c'est-à-dire le *schiste bitumineux* qu'on sait pouvoir distiller avantageusement pour obtenir l'huile de schiste, l'ammoniaque et les produits connexes. Le mineur oppose nettement le *schiste* à cette autre expression : les *schistes*, qu'il emploie toujours au pluriel parce qu'elle lui sert à désigner les schistes stériles, comme les schistes gris intercalés entre les couches de houille. Mais de même que l'industrie minière distingue imparfaitement les *cannels* des *bogheads*, parce qu'il y a des transitions entre ces deux classes de charbons, de même elle ne sait pas bien distinguer les *charbons humiques* des *charbons de purins* et elle applique son appellation : le *schiste* à ces deux classes de charbons.

Pour vous faire connaître les charbons humiques, je décrirai le *brown oilshale permocarbonifère de la région de Broxburn*, puis le *schiste oligocène du Bois d'Asson*, et enfin un charbon brésilien, très probablement crétacé, que j'ai reçu sous le nom de *boghead de Ceara*.

Pour les charbons de purins, il me suffira de vous exposer la structure du *schiste permien de l'Allier*, exploité à Buxière-les-Mines et à Saint-Hilaire.

Dans chaque charbon, je passerai en revue ses trois éléments constituants : la *gelée brune fondamentale*, qui a dans les deux classes que je vais étudier une importance particulière, les *corps accidentels* qui la chargent, le *bitume* qui l'a pénétrée.

Le *brown oilshale de la région de Broxburn* (1) consiste en plaques écailleuses, contournées, à surface noire fortement vernissée, ce qui le

(1) Broxburn est un petit village d'Écosse, à l'est de Bathgate. Les puits à schiste sont à une courte distance du village dans le nord-ouest, entre Uphall et Hopetoun. Je dois les premiers échantillons de *brown oilshale* que j'ai étudiés à mon savant collègue, M. le professeur F.-O. Bower, de Glasgow. Je l'en remercie tout particulièrement.

fait nommer parfois : *schiste contourné* et *schiste ciré d'Écosse*. La roche élastique et résistante a une cassure brun clair. Malgré son faciès de schiste, le *brown oilshale* doit être regardé comme un *charbon*, parce que la matière organique y prédomine optiquement sur la matière minérale et sur le bitume. C'est elle qui donne à la roche ses caractéristiques. Pondéralement, la charge de la roche en matières minérales s'élève à 67.18 % (1), mais ces matières minérales sont toutes tardivement individualisées et subordonnées au substratum organique qui les contient.

L'accumulation de matière organique qui a produit le *brown oilshale* résulte d'un dépôt plus abondant de la gelée brune qui forme la trame des schistes organiques. En coupe mince, c'est une matière amorphe, transparente, brun clair. Elle est hétérogène, zonée et finement stratifiée. La gelée brune ordinaire des schistes est mêlée ici d'une proportion variable de matière jaune, qui faisait prise comme la gelée brune et qui acquérait par degrés tous ses caractères. C'est de la gelée brune à un état d'humification moins avancé. La gelée brune et la gelée jaune sont déposées en lits. On passe insensiblement des uns aux autres. Les zones brunes sont toujours beaucoup plus chargées de menus débris et de corps bactériiformes que les zones claires, jaunes ou orangées. La gelée brune est beaucoup plus chargée en cristaux. Elle a plus fortement localisé l'argile. Celle-ci s'y est individualisée tardivement en gros cristaux dressés, alors qu'elle est en petits cristaux tabulaires, couchés horizontalement, dans la gelée jaune. La consistance de la gelée fondamentale au moment du dépôt était déjà forte, les menus débris humifiés qu'elle contient y sont incomplètement affaissés. Des corps d'une certaine densité, comme des écailles ganoïdes, ne s'y enfonçaient point. Elle arrêtait la chute des corps pesants à la manière d'une gelée aqueuse de gélose très étendue (2). La consistance de la gelée fondamentale était plus forte dans les lits jaunes que dans les lits roux.

Les zones claires du schiste ciré d'Écosse nous apprennent ce fait très important, qu'il y a dans certains charbons *des corps jaunes amorphes dépendant directement de la gelée fondamentale*. C'est une nouvelle catégorie de corps jaunes; elle s'ajoute aux corps jaunes d'ori-

(1) Analyse de M. le professeur A. BUISINE, de la Faculté des sciences de Lille, auquel j'adresse tous mes remerciements.

(2) Au sujet de quelques propriétés des gelées aqueuses de gélose, voir C.-E. BERTRAND, *Premières notions sur les charbons de terre*. (BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE, séance du 14 novembre 1897, p. 6 du tiré à part.)

gine gélosique, à ceux d'origine cellulosique et à ceux d'origine osseuse.

Les deux parties de la gelée fondamentale ont donc fait prise. La consistance de la masse a été particulièrement forte, car, lors de son retrait, elle s'est contractée massivement. Elle ne montre nulle part une tendance à se déchirer en réseau. Par contre, elle s'est coupée par de grandes fentes avec tendance à décoller les lames jaunes des bandes rousses, là où l'opposition des deux états de la gelée était le plus accusé. Les morceaux se sont déplacés. Ils ont glissé les uns sur les autres sans s'érafler. Ce travail s'est donc fait dans l'eau, la masse ayant la consistance d'une gelée aqueuse de gélose à 0,006 ou 0,007. La plasticité parfaite de la masse au moment de sa déchirure est montrée par les lambeaux pliés et plissés qu'on trouve entre les parties déplacées. Macroscopiquement la roche révèle sa structure fendillée en montrant sur les tranches verticales faites à l'émeri une stratification fortement disloquée.

Par rapport à une écaille ganoïde, la contraction verticale de la gelée a été trouvée de 2,5, c'est-à-dire que cette contraction a été 2,5 fois plus forte que celle de l'écaille. Les thalles de l'*Epipolaiia Boweri*, algue gélosique libre qu'on voit de loin en loin dans le *brown oilshale*, ont agi comme corps dur par rapport à la gelée fondamentale. La consistance de la gelée du *brown oilshale* était donc encore inférieure à celle des thalles d'une algue flottante.

L'adhérence de la gelée aux corps qui y étaient englobés était déjà complète lorsqu'elle s'est déchirée sous l'action du premier retrait. On rencontre en effet des thalles, des spores qui ont été coupés par la rupture de la gelée et dont les segments ont été plus ou moins écartés par le glissement des masses où ils sont demeurés adhérents. Aucun de ces objets cependant n'est sorti de la loge où il était enfermé ou ne s'y est déplacé; ils faisaient donc corps avec la gelée entourante.

La charge de la gelée brune du *brown oilshale* en corps bactérioides est extrêmement faible, eu égard à ce qu'elle est dans les autres charbons. Les corps bactériiformes sont ici des sphérules simples ou couplés en diplocoques de 0,5 μ à 0,8 μ de diamètre. Il y a quelques bâtonnets bacilloïdes de 2,5 μ à 4,6 μ sur 0,8 μ . Les corps en bâtonnets et en diplocoques sont couchés à plat. Les corps coccoïdes sont brillants; ils ont l'aspect de spores de bactéries, mais cet aspect est aussi celui de très fines inclusions sans substratum organisé qu'on rencontre dans les roches les plus diverses. A part leur forme, l'aspect des bacilloïdes est aussi celui des coccoïdes. Les plus

gros bacilloïdes contiennent des cristaux. J'ai trouvé les corps bactérioides dans un grand état de pureté sur la surface muqueuse des thalles de l'*Epipolaiia Boweri*. Ces corps sont fortement individualisés par rapport à la gelée fondamentale. Ils s'en séparent par la taille. On les voit isolés dans les cristaux tardifs. — Bien que je ne puisse indiquer quelle est la nature de ces corps bactériiformes, leur présence constante dans la gelée fondamentale en fait une des caractéristiques de cette gelée.

J'ai longuement insisté sur la gelée fondamentale du *brown oilshale*, parce que c'est la matière principale de ce charbon, celle qui lui donne ses caractères. En dehors des matières minérales tardivement individualisées, elle forme presque seule la masse du schiste ciré d'Écosse. Si nous passons aux corps accidentels qui la chargent, ceux-ci sont presque rares. Aucun d'eux n'intervient pour une proportion supérieure à 0.001 du volume total. Les *poussières végétales* sont représentées par des spores et des grains de pollen, peut-être aussi par quelques menus débris humifiés et par des lames cuticulaires. Ces deux dernières séries de corps appartiennent plus souvent à l'*apport des eaux alimentant la mare anthracigène*. — Comme *débris d'animaux*, j'ai rencontré de loin en loin une écaille ganoïde ou un fragment d'os. — Les *fleurs d'eau* sont indiquées par quelques rares thalles d'une algue flottante, l'*Epipolaiia Boweri*. — Tous ces corps sont parfaitement conservés. On dirait qu'ils ont été fixés. Malgré leur excellente conservation, la lecture de ces corps reste très difficile, parce que le bitume qui a imprégné la masse est extrêmement pâle. Les corps où il s'est faiblement localisé sont à peine plus colorés que la gelée entourante. — J'ai reconnu sept espèces de spores, dont cinq proviennent de Cryptogames vasculaires. Il ne m'a pas été possible de déterminer si le pollen provenait d'une ou de plusieurs espèces végétales. — Les menus débris végétaux humifiés sont très fragmentaires. Ce sont des lambeaux de parois colorés en brun-noir. Ils ne sont pas affaissés. Leurs cavités sont comblées par du bitume. — Les parties osseuses des écailles et des fragments squelettiques sont à l'état de corps jaunes. Je n'ai pas vu de bactéries dans les prolongements canaliculaires des cellules osseuses. Les plaques d'émail sont souvent intactes.

Il n'y a pas de parcelles minérales élastiques, pas même une lamelle de mica.

La masse organique du *brown oilshale* a été pénétrée par le bitume. Cette pénétration a été tardive. Elle s'est faite par une sorte de diffusion générale à travers la substance de la gelée fondamentale. D'une part, en effet, le bitume ne forme pas de masses libres injectées dans

la gelée ou placées entre ses feuilletés et, d'autre part, on voit que le bitume a comblé la cavité des lambeaux humifiés noyés dans la gelée, même dans la gelée jaune. On voit aussi que le bitume libre comble les cavités demeurées ouvertes entre les fragments déplacés de la gelée fondamentale. Le bitume a les mêmes caractères optiques dans les cavités de lambeaux humifiés et dans les fissures de la gelée. Il n'a donc pas été altéré par filtration. Il s'agit d'un bitume brun clair très peu condensé.

Comme autre matière introduite tardivement par filtration, je signalerai de petites gouttelettes jaune d'or ou orangées, ramassées parfois en petites masses concrétées. Elles nous apprennent qu'on peut rencontrer dans certains charbons des *corps jaunes tardifs d'origine minérale*. Ils sont ici fort peu nombreux. Ils deviennent très abondants dans d'autres charbons.

Voici donc un charbon formé d'une gelée brune à laquelle nous reconnaissons toutes les qualités de la trame brune des schistes organiques. Les deux gelées ont le même aspect optique. Elles ont fait prise toutes deux et elles se déchirent de la même manière. Elles sont chargées des mêmes corps bactériiformes. Elles conservent également bien les corps accidentels, tout comme la gelée brune des *bogheads*. Dans le *schiste de l'Allier*, nous verrons la gelée du charbon se continuer directement avec la gelée des schistes organiques. L'identification de la gelée brune du *brown oilshale* avec celle des schistes organiques est donc justifiée. — La stratification régulière et zonée de cette gelée dans le *brown oilshale* nous apprend, en l'absence de toute parcelle clastique, qu'elle s'est déposée dans un milieu parfaitement tranquille. — Ses corps accidentels, spores, pollen, fleurs d'eau, corps humifiés, nous ajoutent que les conditions de sa formation ne diffèrent de celles des *bogheads* que par un seul point : *une moindre proportion de l'intervention gélosique*. — Les matières animales sont trop rares dans le *brown oilshale* pour qu'il soit possible, en l'absence d'Ostracodes, de leur attribuer une intervention appréciable dans la formation de la gelée fondamentale. — Je conclurai pour le *brown oilshale* : *charbon formé dans des eaux brunes tranquilles, par simple précipitation de la matière humique pendant le temps des basses eaux, dans une période où les fleurs d'eau n'étaient pas abondantes*. Ce dernier fait si simple suffit à donner un type de roche charbonneuse tout autre que les *bogheads*. Les carbures d'hydrogène apportés par l'imprégnation bitumineuse n'y ont pas été retenus de la même manière. La différence du charbon humique et du *boghead* s'accroît encore parce que la gelée brune est apte à localiser une

grande charge de matières minérales. Lorsque ce fait, très secondaire pour l'histoire générale des charbons, s'est réalisé, le charbon humique prend un aspect schisteux.

Le *schiste du Bois d'Asson* est une roche feuilletée de couleur marron qui devient gris-bleu par son exposition à l'air. Sa tranche verticale brun clair est finement cannelée. La stratification est soulignée par des fissures horizontales (1).

Malgré son aspect schisteux, la roche du Bois d'Asson doit être regardée encore comme un charbon parce que la matière organique y prédomine optiquement d'une façon très nette sur les matières minérales tardives et sur le bitume. Pondéralement, la charge de ce schiste en matières minérales s'élève à 62.79 % dont 39.95 de silice insoluble dans l'acide chlorhydrique (2). Une grande partie de cette silice est à l'état d'organites figurés, valves de Diatomées et spicules d'éponges.

Comme le *brown oilshale*, le schiste du Bois d'Asson résulte d'une accumulation de la gelée brune qui forme la trame des schistes organiques. Cette gelée humique est la matière qui prédomine optiquement sur tout le reste; il s'agit donc d'un charbon humique. La gelée est brun clair, très pâle, *presque jaune*, de structure uniforme dans toute sa hauteur. Elle a fait prise comme celle du *brown oilshale*, mais sa consistance était moins forte. Elle a donc pris une structure très légèrement réticulée, à l'exemple des gelées gélosiques très claires, au titre de trois ou quatre millièmes (3). En quelques points où le réticulum a cédé, il s'est produit des déchirures comblées de suite par un exsudat dans lequel s'est localisée plus tard la matière minérale. Les fentes horizontales placées entre les bancs de la masse schisteuse ne sont que des fissures du réticulum tardivement agrandies. La contraction verticale

(1) Le *schiste oligocène du Bois d'Asson*, que j'ai reçu d'abord sous les noms de *schiste de Marseille*, puis de *schiste de Biabaux*, est exploité d'une manière intermittente dans la gorge du Bois d'Asson, vallée de la Largue (Basses-Alpes). Le principal banc de schiste affleure dans la gorge, à une petite distance derrière la mine de lignite. On voit plusieurs couches du même schiste au tournant de la route de Dauphin, à Volx, sur les deux faces de l'éperon qui précède la gorge du Bois d'Asson.

(2) Analyse de M. le professeur A. BUISINE, de Lille.

(3) Voir C. E. BERTRAND, *Premières notions sur les charbons de terre*, pp. 6 et suivantes. Du fait que les spicules fusiformes ne s'y enfonçaient point et qu'ils y sont couchés horizontalement avec une très grande régularité, je conclus que la consistance de la gelée était supérieure à celle d'une gélose à 0.002, et inférieure à celle d'une gélose à 0.004. La première laisserait descendre les spicules, la seconde aurait retenu des spicules piqués en position instable.

de la gelée, déterminée par rapport aux spicules fusiformes et aux grands disques d'*Orthosira*, est de 2.0.

Les déchirures horizontales de la gelée primitive ont été comblées par une gelée plus claire, très pâle, tenant en suspension les Diatomées les plus légères et les spicules sphérulaires les plus petits de la gelée primitive.

Par rapport aux charbons ordinaires, la charge de la gelée fondamentale en bactérioides est très faible. Par contre, elle paraît très forte si on la compare à la charge de cette gelée en menus débris végétaux humifiés. Le schiste du Bois d'Asson est un des rares exemples où il n'y a pas concordance entre la quantité des corps bactérioides et celle des menus débris humifiés. Les corps bactériiformes sont ici des micrococcoides très petits de 0.2μ , des macrococcoides de 0.7μ à 1.2μ , des bacilloïdes de 3 à 4μ sur 0.5μ à 0.7μ . Ces derniers sont souvent redressés ou tordus, rappelant les germinations de certaines bactéries. Tous les corps bactériiformes sont bullaires. Ils sont particulièrement nets et très régulièrement répartis dans la matière qui a comblé les grandes déchirures de la gelée fondamentale.

Entre la gelée fondamentale du schiste permo-carbonifère et celle du schiste oligocène, il n'y a donc comme différence importante que la structure légèrement réticulée de la dernière. Cet état nous intéresse parce que c'est le début de la structure réticulaire très lâche que prend la gelée fondamentale dans les schistes organiques.

Le gelée fondamentale du schiste du Bois d'Asson contient de nombreux corps accidentels. Ce sont : 1° de nombreux grains de pollen; 2° quelques rares spores; 3° d'assez nombreux exemplaires d'une algue gélatineuse à structure rayonnée que j'ai nommée *Botryococcites Largaë*; 4° quelques débris humifiés, restes de végétaux et de petits lambeaux chitineux d'origine animale; 5° des valves couplées de Diatomées d'eau douce; 6° des spicules d'éponges; 7° des fragments de corps résineux. Les grains de pollen, les spores, les thalles de *Botryococcites* et les fragments résineux sont à l'état de corps jaunes. Nous connaissons les trois premières catégories. Nous rencontrons pour la première fois les corps jaunes d'origine résineuse. Ces corps sont encore rares dans le schiste du Bois d'Asson. Une préparation de 2 à 3 centimètres carrés en montre seulement un ou deux exemplaires. Ce sont des masses, jaune de cadmium, à angles mous homogènes ou exceptionnellement bullaires.

Il y a 4,556 grains de pollen par millimètre cube; ces organites forment 0.003 du volume de la roche. Les grains sont couchés à plat, complètement affaissés. Je signalerai un fait très remarquable à propos

de ce pollen, fait qui me paraît de nature à montrer l'extrême réserve qu'il convient de toujours conserver dans l'analyse optique des charbons. Sur les coupes verticales d'épaisseur moyenne, les grains de pollen sont très visibles; par contre, les coupes de valves de Diatomées échappent complètement, à l'exception des grands disques d'*Orthosira*. Lorsque les coupes sont plus minces, la visibilité des grains de pollen diminue; inversement, celle des coupes de Diatomées augmente. Sur les coupes très minces, on ne voit que les Diatomées et pas du tout les grains de pollen. Sur les coupes horizontales, les grains de pollen échappent complètement; les Diatomées sont très visibles: on peut étudier les plus fines ornements de leurs valves. Je relève ces faits parce qu'ils montrent avec quelle facilité des organites d'un certain volume et à parois très différenciées peuvent nous échapper. Qu'est-ce donc quand il s'agit d'être dont les enveloppes albuminoïdes sont peu différentes du protoplasme? J'estime, malgré tout le soin que j'ai pu apporter à ces travaux, qu'ils ne doivent être considérés que comme un premier aperçu qui jalonne de loin en loin la route des recherches futures. Je ne puis guère étudier que les coupes toutes montées. Je les colore rarement. Il y a là une technique de teinture par élection qui est à créer. Elle rendrait de grands services et elle mettrait peut-être en évidence des organismes de même réfringence et de même coloration que la gelée fondamentale. On arrivera par ces méthodes, que je ne fais qu'entrevoir, à préciser davantage les conditions de la formation des divers charbons. C'est aux jeunes, à ceux qui débent et qui demandent des sujets de thèses, à explorer cette voie. Il faudra savoir sacrifier de belles préparations dans les premiers essais, mais je crois que les résultats paieront largement l'effort qu'ils auront demandé.

Il y a 224 thalles de *Botryococcites Larga* par millimètre cube. Ils interviennent pour 0.004 dans le volume du schiste. Le *Botryococcites* est une algue libre à structure rayonnée, avec une gelée épaisse interposée entre des cellules ovoïdes à parois épaisses. Les thalles sont très affaissés, couchés à plat, isolés les uns des autres et uniformément répartis. Leurs protoplastes sont très faiblement colorés.

Les menus débris végétaux humifiés sont rares. Ce sont ordinairement des fragments de parois fortement noircis, presque fusinifiés. J'ai vu quelques fragments de feuilles moins fortement humifiés, qui avaient retenu du bitume. J'ai rencontré aussi quelques grosses spores bicellulaires dont les parois sont imprégnées de bitume.

Les mêmes débris animaux cornés ou chitineux sont plus fréquents que les débris végétaux.

Le schiste du Bois d'Asson est le premier exemple, parmi les charbons que j'ai décrits, où nous constatons la présence des Diatomées. Elles sont couchées à plat. Les deux valves sont unies, mais écrasées par le retrait. Entre les valves est une gelée jaune clair, amorphe. Le fait est très visible dans les gros disques d'*Orthosira*, dont la gelée intérieure contient parfois quelques micrococcoïdes et d'autres fois de la gelée colorée par le bitume. Je crois que cette gelée jaune, comme celle qui emplit le canal des spicules fusiformes, est une matière introduite par filtration et non pas le protoplasme de la Diatomée. Il s'agirait donc de Diatomées mortes, ayant flotté, englobées ensuite par la gelée fondamentale lors de la précipitation. Ces Diatomées ayant toujours leurs deux valves, ne peuvent venir de loin. Les sept espèces que j'ai reconnues se rapprochent beaucoup de Diatomées d'eau douce actuelles. La plus fréquente ressemble au *Melosira varians*. Un grand *Orthosira*, très visible à cause de sa grande taille et de ses valves épaisses, rappelle notre *Orthosira arenaria*.

Les spicules d'éponges sont très nombreux. Ceux qui frappent tout d'abord sont des spicules lourds, fusiformes ou en navette, semblables à ceux qu'on trouve dans le parenchyme de la *Spongilla fluviatilis*. Il y a aussi des spicules haltérimorphes tels que ceux de l'assise cellulaire qui borde les grands canaux de la *Spongilla*. Toutefois ces spicules étant moins hérissés de pointes dans le fossile des Basses-Alpes que dans la *Spongilla*, il y a entre le vivant et le fossile au moins une différence spécifique. Il y a de plus de très nombreux spicules sphérolaires qu'on ne connaît pas dans notre éponge d'eau douce. Les spicules sont isolés. On ne voit rien autour d'eux qui puisse se rapporter aux tissus d'une éponge. Les spicules fusiformes et haltérimorphes sont couchés à plat. Il s'agit de spicules libérés et flottés, tombés dans une gelée assez consistante pour les arrêter dans leur chute.

Il n'y a aucune parcelle clastique dans la gelée fondamentale. Les roches encaissantes des bancs de schiste sont elles-mêmes très fines.

Le bitume joue un rôle important dans le schiste du Bois d'Asson. Il s'y manifeste d'une manière très spéciale. En dehors des cavités des spicules et des *Orthosira* où il a teinté par diffusion la gelée de remplissage, il consiste en lames minces et en gouttelettes rouge-brun. Les gouttelettes sont plus ou moins affaissées, la gouttelette se prolongeant parfois par des fils ténus qui font penser à une injection fine. Les lames minces ont été rapidement solidifiées. Les gouttelettes se sont solidifiées plus ou moins vite de la surface au centre. Beaucoup contiennent des bulles qui sont pour la plupart affaissées et transformées en disques

plats, lenticulaires. Un moindre nombre ont leurs bulles centrales sphériques. Lames et gouttelettes ont une structure fluidale qui fait écarter la notion de coprolithes. On ne voit pas de débris d'os, d'écailles ou de fragments végétaux. Il n'y a ni bactéries ni granulations cellulaires. S'agirait-il de gouttelettes figeables à la manière des corps gras, gouttelettes qui auraient été entraînées au fond en même temps que la gelée fondamentale et qui se seraient ultérieurement chargées de bitume par action élective? L'aspect du bitume trouvé dans la cavité des *Orthosira* donne une apparence de justification à cette hypothèse, mais les fils et les fines lamelles qui partent des gouttelettes sont beaucoup plus favorables à la notion de matière injectée. Des masses étendues de ces corps rouge-brun, directement superposées, ne se fusionnaient pas; la solidification du bitume s'est donc faite rapidement. Le bitume n'englobe ni les spicules ni les Diatomées, ce qui paraît inconciliable avec la notion de gouttelettes descendues de la surface en même temps que les autres corps. Ceci me détermine à fixer la pénétration de la matière rouge-brun après la prise de la gelée fondamentale, mais antérieurement à ses déchirures horizontales, car le bitume n'a pas passé par ces grandes fentes.

L'intervention du bitume peut être appréciée par les nombres suivants : Il y a 420 gouttelettes par millimètre cube. Il y en a 14 rangées environ dans 1 millimètre de hauteur et 5 à 6 sur 1 millimètre de longueur. Leur coefficient vertical est 0.088; le coefficient horizontal, 0.170. Elles forment 0.036 du volume total du schiste. Sur la cassure verticale fraîche du schiste, les grosses gouttelettes de bitume se voient comme de très petits traits horizontaux noirs et brillants, noyés dans un fond roux terne.

Les masses bitumineuses ne contiennent pas de corps bactériiformes. La contraction du bitume a été sensiblement plus forte que celle de la gelée entourante. Les plus grosses gouttes de bitume sont séparées de la gelée par un arc plus ou moins étendu de cristaux tardifs.

Cette description sommaire du schiste du Bois d'Asson ajoute à la notion de charbon humique les faits suivants. La gelée brune, de consistance plus faible, tend à prendre une structure réticulaire. Les charbons humiques se relient directement aux charbons d'algues. Ils se sont formés dans les mêmes conditions, l'intervention gélosique due au développement des fleurs d'eau demeurant très faible et devenant parfois presque nulle, comme dans le *brown oilshale*. Il s'agit de formations d'eau douce. Le fait était sujet à répétition dans un système de couches lacustres. Le bitume individualisé en gouttelettes figées inter-

vient d'une façon très appréciable. La liste des variétés de corps jaunes que l'on peut rencontrer dans les charbons s'est accrue des corps jaunes d'origine résineuse englobés par la gelée fondamentale lors de son dépôt.

Le *charbon de Ceara* présente pour mon sujet un très grand intérêt. Son faciès macroscopique est celui d'un charbon commercial à ce point que des industriels l'ont pris pour un *boghead*. C'est une roche élastique, tenace, finement stratifiée, à cassure verticale lustrée, presque vitreuse. Comme caractère secondaire, très commode pour la diagnose, on y remarque de distance en distance des oolithes blanches ou brun pâle dont la calcite de remplissage est d'origine tardive (1).

Le charbon de Ceara n'est pas un *boghead*, il ne contient pas d'algues; les carbures d'hydrogène, apportés par l'imprégnation bitumineuse, n'y sont donc pas retenus par la matière gélosique. Le charbon de Ceara est un charbon humique dont la charge en matières minérales est très faible. L'analyse (2) accuse 40.65 % de matières minérales, mais sur ce nombre près de 22.40 % de carbonate de calcium sont ramassés dans les oolithes. Il n'y a donc que 18.25 % de matières minérales réellement incorporées à la masse du charbon. Ainsi, *quand dans une accumulation de gelée humique soumise à l'imprégnation bitumineuse, la charge en matières minérales reste faible, la roche a les caractères macroscopiques d'un charbon*. Cette remarque est la justification expérimentale de l'extension que je donne au terme *charbon*. « *Un charbon est une roche produite par une accumulation de matières organiques dans laquelle celles-ci jouent optiquement le principal rôle et donnent à la roche ses caractéristiques essentielles* (3). » La roche de Ceara est bien un charbon, parce que la matière organique y prédomine optiquement sur la matière minérale tardivement individualisée et sur le bitume.

Le charbon de Ceara résulte d'une accumulation de la gelée brune

(1) Je dois cet échantillon et les premières préparations que j'ai étudiées à l'amitié de M. B. Renault. Il avait reçu ce spécimen de M. Bayle, directeur de la Compagnie lyonnaise.

(2) Analyse faite par M. le professeur A. BUISINE, de Lille.

(3) Par opposition, « *un schiste organique est une roche où les matières minérales accumulées dans un substratum organique sont si abondantes qu'elles jouent le rôle principal et donnent les caractéristiques essentielles de la roche* ». On prévoit par ces définitions qu'on passe des charbons aux schistes organiques par des transitions insensibles. Dans tous les exemples de charbons que j'ai décrits jusqu'ici, on peut remarquer que l'accumulation de matière organique a été soumise ultérieurement à un enrichissement de la masse en hydrocarbures par une infiltration bitumineuse.

fondamentale qui forme la trame des schistes organiques. Cette gelée a une structure uniforme dans toute sa hauteur. Elle n'est pas différenciée en zones jaune d'or et en zones rouges. Elle est assez fortement colorée. Cette gelée était très consistante, comme le montrent la manière dont elle s'est coupée et cet autre fait que des coquilles d'Ostracodes y sont parfois posées en équilibre instable, maintenues dans cette situation par la rigidité de la gelée. La gelée a fait prise. En se contractant, elle s'est coupée comme la gelée du *brown oilshale*. Les morceaux ont glissé les uns sur les autres, mais ces déplacements sont peu étendus et limités à des points isolés dans l'étendue du charbon.

Les corps bactériiformes sont très peu abondants; ce sont surtout des micrococcoïdes bullaires. Certains sont entourés d'un cristal et agglomérés en boules qu'il ne faut pas confondre avec des zoogléées. Il y a seulement quelques rares diplocoques et quelques bacilloïdes.

La gelée fondamentale du charbon de Ceara répète donc les gelées que nous connaissons. Comme elle forme la presque totalité du charbon, c'est sa cassure vitreuse que nous apprenons à lire sur les ruptures verticales de la roche. C'est sa section verticale jaune-brun foncé que nous montrent les tranches faites à l'émeri. D'après cela, il semble que la description du charbon de Ceara aurait pu être évitée. Un mot ajouté à celle du *brown oilshale* suffisait pour dire qu'une masse de gelée brune consistante, moins riche en matières minérales tardives, donne une roche à faciès macroscopique de charbon. Ce sont les corps accidentels du charbon de Ceara qui me forcent à m'arrêter sur cet exemple. Ces corps accidentels sont des corps jaunes, lamellaires, très petits et très peu nombreux; des amas rouge-brun qu'on prend au premier abord pour de très petits coprolithes ou pour des gouttelettes bitumineuses affaissées, et des coquilles d'Ostracodes.

Les corps jaunes sont rares, très difficilement visibles. Il faut les chercher avec une extrême attention sur des coupes parfaitement planes. Comme corps d'origine cellulosique, il y a quelques très rares spores de Cryptogames vasculaires et des grains de pollen groupés en tétrades, comme ceux de l'ordre des Bicornes, *Rhododendron*, *Erica*, etc. Il y a seulement 80 de ces grains de pollen par millimètre cube. Ils sont admirablement conservés. On reconnaît le détail des stries d'ornementation de la surface des grains. Les corps gélosiques sont représentés par une algue gélatineuse à structure rayonnée libre et flottante. Les exemplaires de cette algue sont si peu nombreux qu'il ne m'a pas été possible de la caractériser comme genre (1). Elle ressemble un peu

(1) On en trouve un exemplaire sur une surface de 54 centimètres carrés de section.

au *Botryococcites*. Les spores et le pollen nous indiquent des pluies de soufre moins abondantes. L'algue prouve que la vie des algues pélagiques était encore possible dans l'eau brune génératrice de ce charbon.

Les menus débris végétaux humifiés sont extrêmement rares. Ce sont des fragments de parois très petits, très altérés, mais incomplètement affaissés. Ils ont été soutenus par la consistance de la gelée. Nous retrouvons ici la concordance ordinaire entre la charge de la gelée en menus débris et sa richesse relative en bactérioides.

Les amas rouge-brun affaissés, qui sont assez nombreux et très uniformément répartis dans la masse, ne sont ni des coprolithes ni des gouttelettes affaissées. *Ce sont des pelotons de conidies et de filaments mycéliens d'une Mucédinée*. Les conidies peuvent être seules. Ces corps sont très bien conservés. Les parois assez fortement colorées ont condensé le bitume. La présence de ces pelotons de Mucédinées dénote une eau génératrice à la fois parfaitement tranquille et particulièrement riche en matières nutritives. Les Mucédinées sont en effet nos moisissures communes.

Le charbon de Ceara contient d'assez nombreuses coquilles d'un Ostracode voisin des *Cypris*. Le Crustacé de Ceara avait sa coquille lisse, sans poils, bordée le long de la fente ventrale par un fort rebord interne. Les deux valves sont ordinairement couplées et couchées sur le flanc, l'une en dessous, l'autre en dessus. J'ai trouvé quelques rares coquilles isolées et quelques exemples de coquilles dont les deux valves sont dressées, le bord dorsal étant en haut. Toutes ces coquilles sont vides. Je n'ai pas pu y trouver trace de la peau ni de la masse musculo-viscérale des *Cypris*. La plupart des coquilles ont été effondrées par le retrait de la gelée. Les morceaux des valves opposées sont rapprochés, mais non pas directement appliqués l'un sur l'autre. Ce n'est donc point le tassement ou une pression verticale qui a provoqué l'effondrement des coquilles. Certains morceaux de coquille ont été parfois redressés par l'effondrement; ils coupent la gelée fondamentale. On voit de nombreux exemples de coquilles où la gelée fondamentale, nettement coupée, s'insinue légèrement entre deux morceaux de la valve effondrée, laissant la coquille non remplie. Une gelée homogène, très claire, teintée par le bitume, sorte de filtrat sorti de la gelée fondamentale, comble la cavité de la coquille. Ceci montre la rigidité acquise par la gelée lorsque les coquilles se sont effondrées.

Dans les coquilles non effondrées, la calcite a cristallisé en aiguilles rayonnantes qui s'appuient par une extrémité sur la coquille et dont l'autre extrémité s'avance près de la surface de symétrie de l'animal.

Il reste un vide le long du bord ventral et des bords antérieur et postérieur. Cet espace est rempli par le même fluide brun clair, chargé de bitume, que nous avons vu entre les valves des coquilles effondrées. Les corps bactérioides sont rares dans cette gelée de remplissage, mais il en existe des exemples bien constatés.

Par rapport aux coquilles non effondrées, la contraction verticale de la gelée fondamentale est de 2.5. La contraction horizontale varie de 1.5 à 1.5. Près de quelques points où les coquilles étaient plus nombreuses, il s'est formé de très grands oolithes qui ne sont plus enfermés dans les coquilles.

Bien qu'il s'agisse de coquilles d'Ostracodes vidées qui ont flotté à la surface de l'eau, comme les valves sont demeurées unies deux à deux, je conclus que si un transport *post mortem* a eu lieu, il a été extrêmement faible. On doit donc admettre que les *Cypris* de Ceara ont vécu dans la mare où s'amassait la matière organique. La présence de ces Ostracodes nous indique qu'il s'agit de liqueurs riches en matières organiques et en particulier en produits animaux. Les mares dont les eaux sont souillées par le trop-plein des fosses à purin sont le milieu favori des *Cypris*. En été, ils y deviennent si nombreux qu'ils colorent l'eau en rouge sang. Ce résultat, rapproché de la présence des Mucédinées, nous donne la notion *d'une gelée humique fondamentale se déposant dans une eau brune additionnée d'une proportion sensible de matières animales*. Le charbon de Ceara nous apparaît ainsi comme une variété des charbons humiques. Aux conditions ordinaires de la genèse de ces charbons s'ajoute une condition nouvelle : *la présence de matières animales dans le milieu générateur*.

Un tel milieu devait être très chargé d'organismes inférieurs de toutes sortes : infusoires, etc. Comme la conservation des objets y est parfaite, j'ai recherché spécialement dans cette gelée la trace de ces êtres. Je n'ai rien vu qui établît leur existence. L'échec de ces recherches ne correspond peut-être qu'à l'emploi d'une technique insuffisante; mais, d'autre part, n'y a-t-il pas là l'indice de phénomènes remarquables de fixation ?

L'intervention du bitume a été tardive. Il s'agit d'un bitume peu coloré et peu concentré. Il a diffusé à travers toute la masse. Il n'y est pas localisé en gouttelettes. Le bitume comble les fentes de la gelée et teint la matière de remplissage des coquilles et des cavités des oolithes.

Le charbon de Ceara est donc un charbon humique. L'eau brune génératrice, additionnée de matières animales, a permis la multiplication

d'un Crustacé Ostracode et d'une Mucédinée. La pauvreté relative de cette eau en matières minérales a laissé à la roche ses caractères de charbon. La matière organique a été soumise à un enrichissement en hydrocarbures par une infiltration bitumineuse tardive.

Pour cette première partie de ma conférence sur les charbons humiques, je conclurai de la manière suivante :

Les trois charbons humiques que j'ai cités montrent que, des temps carbonifères à l'époque oligocène, la formation des roches charbonneuses par accumulation de la gelée brune fondamentale des schistes organiques est un phénomène régulier, qui s'est reproduit avec les mêmes caractères essentiels. La notion de charbon humique n'est donc pas un fait exceptionnel. Elle répond à une classe de charbons où les organismes figurés, à part peut-être les bactéries, ne prennent pas directement part à leur formation.

En nous donnant la notion de charbons amorphes, les charbons humiques modifient profondément la conception qu'on s'était faite des roches charbonneuses. La définition qu'on avait donnée des charbons : *des accumulations de matières végétales*, ne leur est pas applicable. Il faut modifier cette définition comme je l'ai indiqué, en lui donnant une plus grande extension.

En nous présentant le mode d'intervention de la gelée brune dans la formation des charbons débarrassé des causes accidentelles qui nous le masquent d'ordinaire, les charbons humiques nous donnent la première idée des conditions nécessaires à la formation des roches charbonneuses.

Les conditions de formation des charbons humiques sont des eaux brunes tranquilles, laissant précipiter leurs matières humiques au temps des basses eaux, alors que les algues gélosiques sont encore peu abondantes. La masse est enrichie en hydrocarbures par une infiltration bitumineuse plus ou moins tardive. Lorsque les conditions ont été très favorables, comme dans le système lacustre du Bois d'Asson, la gelée humique a formé plusieurs couches successives dont l'ensemble présente une certaine épaisseur.

Les charbons humiques sont de simples incidents au cours de la formation de schistes organiques. Ils relient entre eux les schistes et les charbons à corps accidentels dominants.

En général, les charbons humiques ont l'aspect de schistes bitumineux, parce que leur gelée fondamentale, éminemment apte à se charger de matières minérales, a pu les localiser fortement. Lorsque les

conditions locales ont été telles que cette charge demeurât faible, comme dans la roche de Ceara, celle-ci conserve le faciès d'un charbon à cassure noire et vitreuse.

Dans les charbons de gelée brune pure, la rétention du bitume a été faible. Elle s'est faite par une sorte d'imbibition de cette gelée. La distillation de tels charbons donnera par suite de tout autres résultats que la distillation des charbons gélosiques. La localisation des carbures éclairants sur les matières gélosiques et cellulosiques non humifiées s'y fait pourtant comme dans les *bogheads*, ainsi que le montrent les thalles, le pollen et les spores conservés à l'état de corps jaunes.

Le *brown oilshale* réalise le charbon humique type. Le schiste du Bois d'Asson montre la liaison des charbons humiques avec les charbons d'algues. Le charbon de Ceara, par ses Mucédinées et ses Ostracodes, nous a appris que des matières animales pouvaient s'ajouter en quantité appréciable à l'eau génératrice de la gelée brune. Il nous a appris de plus qu'un charbon humique se présente normalement avec le faciès de charbon.

Ce que j'ai dit des *charbons humiques* va nous permettre de comprendre les *charbons de purins*. Un exemple, celui du schiste bitumineux de l'Allier, me suffira pour caractériser cette nouvelle classe de charbons.

La roche de Ceara nous a montré un charbon humique formé dans une eau génératrice qui contenait une certaine quantité de matières animales. Cette notion résulte de la présence des *Cypris*. La puissance nutritive plus grande de cette eau est attestée par la Mucédinée. Dans le schiste de Buxière et de Saint-Hilaire, la gelée fondamentale, chargée d'une proportion notable de produits stercoraux, voit par ce fait sa capacité de rétention du bitume augmentée, ce qui nous donne un autre type de charbon. L'eau génératrice de ce charbon était semblable à un purin concentré. Chaque fois que cette eau se diluait suffisamment, les Ostracodes apparaissaient (1).

(1) Je dois les premiers échantillons des schistes de l'Allier que j'ai étudiés, à mon ami M. B. Renault. J'ai reçu en 1896 deux collections très complètes, l'une qui provient du puits du Meglin, dépendant de Buxière, l'autre qui provient du puits Saint-François, dépendant de Saint-Hilaire. La première a été rassemblée par les soins de M. A. Duchet, propriétaire de Buxière, de M. Roux, ingénieur-directeur, et de M. Dumas, chef-mineur; la seconde, par les soins de M. l'ingénieur Castaignier, directeur de Saint-Hilaire. Je prie ces Messieurs d'agréer l'expression de ma gratitude. Aux noms de ces Messieurs je dois joindre celui de M. l'ingénieur Heliot, directeur actuel de Buxière, et celui de

Le schiste des têtes-de-chats est un charbon, parce que la matière organique y prédomine optiquement sur les matières minérales et sur le bitume. Toutefois cette prédominance est peu accusée. La gelée fondamentale, fortement déchirée, est chargée d'une quantité considérable de matières minérales. Il y a 77.12 % de ces matières minérales (1). On y voit de nombreuses parcelles élastiques de mica. On est donc près de cette limite où la roche cesse d'être un charbon pour devenir un charbon organique dans lequel la trame organique joue un rôle très important.

Le schiste des têtes-de-chats est une accumulation de gelée brune fortement chargée de corps accidentels. Au premier rang de ceux-ci sont des coprolithes de reptiles ichtyophages. Les uns sont entiers, les autres, le plus grand nombre, sont plus ou moins complètement éparpillés. Les coprolithes ne sont pas encore assez nombreux pour dominer sur tout le reste et pour donner à la roche ses caractéristiques essentielles : ce n'est donc pas un *charbon de coprolithes*. Les coprolithes sont toutefois assez nombreux et tellement répartis à travers la gelée que celle-ci est nécessairement chargée de produits stercoraux dans toutes ses parties. Ce n'est donc plus la gelée humique pure du *brown oilshale* et du schiste du Bois d'Asson, c'est une gelée brune, très chargée de matières stercoraires, contenant des masses de charbon de coprolithes, chaque coprolithe, imbibé de bitume, ayant fourni son nodule de charbon.

La gelée fondamentale est fortement colorée en rouge-brun foncé. Elle a retenu beaucoup de bitume. Elle est largement déchirée en réseau, les fils du réseau étant eux-mêmes criblés de petites fentes. La gelée est chargée d'une quantité extraordinaire de corps bactériiformes, micrococcoïdes, macrococcoïdes, bacilloïdes. *Ces corps, à contours très nets, se détachent en clair sur le fond coloré.* S'il s'agit de restes d'organismes figurés, leur mode de conservation est très différent de celui des bactéries fixées dans le mucus des coprolithes et de celui du *Zooglytes elaverensis*. La contraction verticale de la gelée est particulièrement forte : elle a été trouvée de 3.7 à 4.0 par rapport à des parcelles de mica et à des plaques d'émail. Les coprolithes sont beaucoup moins contractés que la gelée qui les entoure. Ils ont agi comme des corps très durs par rapport à celle-ci.

La gelée du schiste de l'Allier contient de nombreux corps jaunes qui sont tous d'origine accidentelle. Il y a plusieurs espèces de spores de *Cryptogames vasculaires*, deux espèces de grains de pollen, des écailles

(1) Analyse de M. le professeur A. Buisine.

et des os tombés pour la plupart des coprolithes. On compte en moyenne 27,200 grains de pollen par millimètre cube dans le schiste des têtes-de-chats. Ce nombre s'élève à 540,000 dans certaines zones où le pollen devient prédominant au point de former des pellicules d'un véritable charbon pollinique. On peut y rencontrer des sacs polliniques entiers, encore pleins de leurs grains de pollen. Les pluies de soufre étaient si abondantes que l'eau génératrice du charbon devait en être rendue laiteuse. Un tel milieu a dû, semble-t-il, renfermer une foule d'organismes inférieurs. Malgré une étude spéciale de la gelée brune à ce point de vue, je n'ai pu y reconnaître la trace de ces êtres. La coloration intense prise par la gelée gêne beaucoup les observations. Je dois faire une exception pour le *Zoogleïtes elaverensis*, qui a vécu dans les eaux de purin les plus concentrées. Cet être consiste en une masse de gelée dense, différente de la gélose des algues ordinaires, car au lieu de donner des corps jaune d'or comme celles-ci, elle a produit une matière qui se colorait en brun clair. Dans cette gelée sont de très petites cellules sphériques de 0.6μ à 0.8μ , dont le protoplasme est coloré en brun (1). L'aspect de l'être est celui d'une zoogléée qui mesure 45μ de long sur 15μ d'épaisseur. La masse pouvait atteindre 86μ . Dans le thalle, les centres des cellules sont distants de 0.8μ à 1.6μ . Les *Zoogleïtes* ne sont pas très nombreux. Il y en a pourtant dans toute la hauteur du banc. *Zoogleïtes* est caractéristique du banc des têtes-de-chats (2). Il disparaît dès qu'on approche d'une région où les coprolithes sont moins abondants.

Il y a de nombreux débris de végétaux fragmentaires à parois fortement altérées. Beaucoup sont à l'état de fusains. Les autres ont condensé fortement le bitume. On peut rencontrer de grandes plaques de charbon brillant craquelé qui ont cette origine dans le lit des têtes-de-chats.

Les plus importants des corps accidentels du schiste de l'Allier sont des coprolithes de reptiles ichtyophages. Les coprolithes sont entiers ou éparpillés. Les coprolithes ayant fortement condensé le bitume ont

(1) Si les protoplastes du *Zoogleïtes elaverensis* sont entourés chacun d'une membrane propre, celle-ci est colorée comme la masse protoplasmique et elle est confondue avec elle dans la description ci-dessus. Une telle membrane, jointe à la taille exigüe des cellules, tendrait à rapprocher les *Zoogleïtes* des bactéries. Je n'ai pas observé la formation des spores de *Zoogleïtes* : je ne puis dire si elles sont ou non endogènes.

(2) La présence de *Zoogleïtes* n'est pas incompatible avec la formation d'un charbon d'algues. Ainsi j'ai rencontré cet être dans de petits lits du *boghead* d'Autun où les Pilas étaient accompagnés de très nombreux coprolithes.

donné des nodules d'un charbon noir satiné, qui tranchent nettement sur le fond brun de la masse entourante. Ce sont là des masses de charbon d'origine animale. L'intervention des coprolithes dans le schiste est donnée par les nombres suivants. Le coefficient vertical varie entre 0.166 et 0.250. Le coefficient horizontal est 0.096. Le coefficient en volume est compris entre 0.056 et 0.075. La présence de plusieurs gros coprolithes en un point bouleverse ces coefficients. Il est aussi très difficile de tenir compte des coprolithes éparpillés. Les nombreuses écailles détachées des coprolithes, qu'on trouve isolées à travers toute la gelée, montrent que la matière stercoraire s'est répandue abondamment dans toute la masse, intimement mêlée par ses parties les plus fluides à la gelée fondamentale.

Les coprolithes entiers sont conservés dans leurs moindres détails, comme s'ils avaient été saisis par un liquide fixateur. On y voit les bols alimentaires agglutinés par le mucus intestinal. Dans un grand nombre de coprolithes, ce mucus contient un très beau bacille à éléments isolés et en chaînettes. La bactérie, colorée en brun par localisation élective du bitume, se détache très nettement sur le fond beaucoup plus clair du mucus. Protoplasme et parois sont colorés. On a les mêmes difficultés pour distinguer le protoplasme et la paroi de ce bacille fossile que dans nos bactéries actuelles, lorsqu'elles ont été colorées par le violet de gentiane. Dans les mêmes coprolithes, un grand nombre d'écailles convenablement colorées par le bitume montrent dans les fins canalicules qui prolongent les cellules osseuses des granulations sphériques alignées, colorées en brun. Ce sont les cellules d'un *Micrococcus* bien caractérisé que M. B. Renault a décrit sous le nom de *M. lepidophagus*. Dans ce second exemple, la bactérie se détache sur la matière osseuse entourante par sa plus forte coloration. Le protoplasme et la paroi y sont encore également colorés et ne peuvent se distinguer l'un de l'autre. Ces faits de surcoloration des bactéries fixées vivantes par localisation élective du bitume s'accordent avec la coloration brune que les protoplastes des cellules ordinaires prennent par diffusion en présence du bitume. Si donc les corps bactérioides de la gelée fondamentale sont des restes de bactéries, ils ont été fixés à un état tout différent de celui de bactéries des coprolithes.

Les parties osseuses des écailles, les fragments squelettiques sont à l'état de corps jaunes. Les masses protoplasmiques des cellules osseuses sont colorées par du bitume qu'elles ont condensé ou remplacées par cette matière lorsqu'elles ont été détruites.

Les plaques d'émail, souvent trouées, sont incolores.

Il y a d'assez nombreuses parcelles de mica uniformément réparties à travers toute la masse. C'est le seul élément clastique qu'on y puisse relever.

Le bitume se voit libre dans les grandes cavités des os. Il s'y montre contracté en un réticulum. C'est un bitume brun-noir, fortement coloré, différent de ceux des charbons précédemment étudiés. En dehors des cavités osseuses, le bitume n'est pas individualisé. Il a pénétré la masse par une diffusion générale. Il est accumulé spécialement dans les coprolithes et dans les débris végétaux convenablement humifiés. Il a teinté par action élective les protoplastes des cellules osseuses, le bacille des coprolithes, le *Micrococcus lepidophagus*, les cellules du *Zoogleïtes elaverensis* et la gelée fondamentale.

Toute la masse est très sulfurée et fortement imprégnée de pyrite.

Les autres bancs du schiste de Buxière et de Saint-Hilaire nous apprennent que le même phénomène s'est répété plusieurs fois avec une moindre intensité. *Zoogleïtes* fait défaut dans les autres bancs. Les lits de charbon de purin passent à des zones chargées d'Ostracodes. Dans ces zones, les coprolithes sont moins abondants, le pollen et les menus débris sont plus dilués, la charge en matières minérales est fort augmentée. La gelée fondamentale, très largement déchirée, est réduite à un fin réticulum. Il y a enfin de nombreuses coquilles d'Ostracodes dont les valves sont couplées et écrasées. Les lames de charbon brillant craquelé des *grès gris noirâtres* sont des lambeaux végétaux plus volumineux, humifiés, qui ont fortement condensé le bitume. Ils sont mêlés à des fusains.

Il y a donc des charbons de purins.

De même que les charbons humiques, les charbons de purins ne sont qu'un incident au cours de la formation d'un schiste organique, et l'incident a été sujet à répétition.

Des charbons humiques aux charbons de purins, nous ne relevons comme variation dans les conditions géogéniques qu'une charge plus forte de l'eau génératrice en matières stercoraires. L'eau brune est devenue une eau de purin. La gelée fondamentale ainsi modifiée retient une plus grande quantité de bitume. Il en résulte un type de charbon dont les caractéristiques diffèrent très nettement de celles des charbons humiques.

La production des diverses variétés de charbon, fusain, charbon

brillant craquelé, etc., reste régulière et normale dans ce milieu.

Il y a eu un fort enrichissement de la matière organique de ces charbons en carbures d'hydrogène. En particulier, les coprolithes, les os et les écailles, en condensant fortement le bitume, nous donnent des nodules ou des lames de divers charbons animaux.

Les schistes de l'Allier reproduisent les schistes bitumineux à coprolithes qui précèdent et qui suivent le *boghead* d'Autun. Ce dernier fait doit vous montrer la forte liaison qu'il y a entre toutes les parties de ces études sur les charbons.

Comme conclusions finales, je dirai, en essayant de résumer sous forme d'aphorismes les progrès que cette conférence a eu pour but de vous faire connaître :

1. — Les *bogheads* ou charbons d'algues sont devenus des charbons caractérisés par la prédominance d'un corps accidentel, la *gélouse*, qui a agi en localisant des hydrocarbures éclairants.

2. — La contraction de la *gélouse* relevée dans les charbons d'algues ne suffit pas à rendre compte des hydrocarbures qu'on y trouve solidifiés. Il y a eu enrichissement de la substance végétale en matières hydrocarbonées par des infiltrations bitumineuses.

3. — Dans les *bogheads*, la matière végétale gélosique se montre comme une condition surajoutée et toute fortuite. Cette condition différencie les charbons d'algues des autres charbons à corps accidentels dominants, mais elle ne nous fait pas connaître l'ensemble des conditions nécessaires à la formation d'un charbon.

4. — Les charbons humiques nous font connaître quelques qualités de la gelée fondamentale et son mode d'intervention dans la formation des charbons. Ils nous donnent une première idée des conditions nécessaires à la formation des charbons.

5. — La formation des charbons humiques exige des eaux brunes tranquilles, laissant précipiter leurs matières humiques. Ce dépôt de gelée humique doit être complété par une imprégnation bitumineuse qui vient enrichir la gelée brune en principes hydrocarbonés. A la *gélouse* près, ce sont les conditions de formation trouvées pour les *bogheads*.

6. — Des matières stercoraires ajoutées à la gelée fondamentale

suffisent à modifier sa capacité de rétention du bitume et à donner un autre type de charbon : les charbons de purins.

7. — La production des diverses variétés de charbons qu'on voit associées dans les houilles, est régulière et normale dans ce milieu.

8. — Les charbons humiques peuvent se présenter avec le faciès macroscopique de charbon. Il suffit qu'il se forment dans des conditions telles que leur charge en matières minérales reste faible. La gelée humique avait une très forte tendance à localiser les matières minérales ; aussi les charbons humiques ont-ils très généralement l'aspect de schistes bitumineux.

9. — Les charbons humiques correspondent à peu près aux schistes bitumineux de l'industrie, comme ses *bogheads* correspondent à peu près aux charbons d'algues.

10. — En nous donnant la notion de charbons amorphes, les charbons humiques modifient profondément notre compréhension des roches carbonneuses.

