SÉANCE MENSUELLE DU 20 MARS 1934

Présidence de M. C. CAMERMAN, *vice-président.*

Le Procès-verbal des séances des 23 janvier et 20 février est lu et adopté.

Le Président proclame membres effectifs :

MM. DE LANNOY, ROBERT, ingénieur des Mines, 41, rue Van Eyck, Bruxelles; présenté par MM. Delhaye et Mathieu;

DUVIGNEAUD, PAUL, rue de la Concorde, 59, Bruxelles; présenté par MM. M. Leriche et É. Asselberghs;

BELOTTE, É.-CH., professeur à l'Athénée, rue de Naples, 5, Ixelles; présenté par MM. F. Kaisin junior et É. Asselberghs.

L'Académie de Sciences, Agriculture, Arts et Belles-Lettres d'Aix-en-Provence et la Société géologique de France ont fait parvenir des lettres de condoléances à l'occasion de la mort de S. M. le Roi Albert.

Lecture est donnée des réponses de M. le Ministre de l'Intérieur et de M. le Ministre du Travail et de la Prévoyance sociale concernant le vœu émis par la Société au sujet de l'utilité de faire appel à des minéralogistes dans les études poursuivies sur les pneumoconioses.

La Société adopte le projet de règlement de l'Union paléontologique internationale, décide de faire partie de cette Association et désigne comme délégués son président, M. V. VAN STRAELEN, et MM. E. MAILLEUX et A. RENIER.

MM. C. CAMERMAN, V. DEMOLLIN, M. ROBERT et X. STAINIER remercient la Société de leur élection au sein du Conseil d'administration.

La Société géologique suisse fêtera le cinquantenaire de sa fondation en septembre prochain. A cette occasion, une série d'excursions seront organisées à travers le pays. La circulaire renfermant, entre autres, le programme de ces excursions, est tenue à la disposition des membres de la Société.

Les excursions suivantes auront lieu au cours des mois prochains :

le 29 avril, excursion dirigée par M. E. MAILLEUX, dans le Frasnien des environs de Boussu et de Couvin;

le 12 mai, excursion dirigée par MM. V. DEMOLLIN et F. HALET, dans les couches mises à nu par les travaux du canal Albert;

le 13 mai, excursion morphologique dirigée par Mlle M. LEFEBVRE, dans le Limbourg hollandais;

en juin, excursion morphologique et tectonique dans le Tournaisis, sous la direction de MM. C. CAMERMAN et Ch. STEVENS.

Dons et envois reçus :

1° De la part des auteurs :

8698 *Dahlgren*, *E. E.* A Forest of the Coal Age. Chicago, 1933, 39 pages et 24 figures.

8699 *Jamotte*, *A.* A propos du travail de M. H. Lagotala sur « La Géologie du Congo occidental. Essai de parallélisme avec la région Katanga-Rhodésie ». Liége, 14 pages et 1 figure.

8700 *Maillieux*, *E.* Terrains, Roches et Fossiles de la Belgique. Deuxième édition revue et augmentée. Bruxelles, 1933, 217 pages et 249 figures.

8701 *Riggs*, *E. S.* Preliminary description of a new marsupial sabertooth from the pliocene of Argentina. Chicago, 5 pages et 1 figure.

8702 *Roy*, *S. K.* A new devonian trilobite from Southern Illinois. Chicago, 1933, 15 pages et 4 figures.

7192 *Torcelli*, *A. J.* Obras completas y correspondencia cientifica de Florentino Ameghino. Volumen XI : Ungulados, aves y descentados. La Plata, 1920, 917 pages et figure.

2° Nouveaux périodiques :

8703 *La Louvière*. Publications de l'Association des Ingénieurs de l'École des Mines de Mons. Année, 1933, fasc. 1 à 4

Communications des membres :

F. KAISIN. — *Le facies « Marbre noir » dans le Viséen et le Frasnien* (1).

Premières observations sur l'horizon de Quaregnon dans le massif du Poirier au siége Sainte-Aldegonde des Charbonnages de Ressaix,

par ARMAND RENIER.

En 1900, M. R. Cambier, à cette époque, ingénieur au siége n° 12 des Charbonnages Réunis de Charleroi, signalait l'existence à ce siége d'un banc de schistes à Lingules, peu au-dessous de la couche Duchesse ou Naye-à-Bois du massif du Poirier. C'était la première découverte dans le Hainaut, en plein gisement exploité, d'un niveau à faune marine dont l'importance stratigraphique ne devait pas tarder à s'affirmer comme prépondérante dans le raccord très minutieux des divers faisceaux. Ce niveau est à présent connu, comme l'a proposé M. X. Stainier, sous le nom d'horizon de Quaregnon.

J'ai eu l'occasion, en 1922, de signaler la reconnaissance du même niveau dans le massif du Poirier, en deux nouveaux gîtes : l'un, tout proche du lieu où il fut découvert par M. Cambier, est dans les travaux souterrains du siége n° 5 (Blanchisserie) de la concession Marcinelle-Nord; l'autre est situé à 9 km. vers l'Ouest, au siége n° 8 des charbonnages de Monceau-Fontaine.

Grâce à la sagacité de M. Gossard, ingénieur divisionnaire aux charbonnages de Ressaix, la liste des gîtes connus vient de s'accroître par addition d'un numéro : l'horizon de Quaregnon est identifié à 7 km. à l'Ouest du siége n° 8 des charbonnages de Monceau-Fontaine, soit au puits n° 2 Sainte-Aldegonde des charbonnages de Ressaix. Il y est situé dans le toit du deuxième veiniat, sous la veine Marguerite, celle-ci s'identifiant ainsi avec la veine Naye-à-Bois des environs de Charleroi et la veine Cinq Paumes des environs de Forchies.

La veinette en question vient d'être recoupée pour la première fois au siége Sainte-Aldegonde, à l'étage de 670 m. du puits n° 2, soit à 600 m. Nord et 300 m. Ouest de ce puits.

(1) Cette communication, dont le manuscrit n'est pas parvenu au secrétariat, sera publiée ultérieurement.

Puissante de 25 cm., elle titre, en ce point, 14,25 % de matières volatiles, 5 % de cendres et 4,3 % de soufre.

Le banc de schiste, épais de 42 cm., qui constitue le toit proprement dit, est charbonneux sur environ 2 cm. Le fusain y est assez abondant. Certaines lamelles de charbon brillant entourent des noyaux d'argile pyriteuse. Ce sont manifestement là des restes de troncs flottés et très macérés.

La roche est ensuite argileuse, noirâtre, à rayure blanche. Tout au bas, sur 1 ou 2 cm., quelques débris végétaux flottés, notamment des graines assez endommagées (cf. *Cordaicarpus*). Dès 1 cm. du contact, restes assez fréquents de Lingules (cf. *Lingula mytiloides* forma *Credneri*) sous forme de valves presque toujours entières, parfois appariées. Certain échantillon les laisse voir tout à côté d'une tache micacée circulaire de 2 mm. de diamètre, qui peut être tenue pour l'orifice du puits servant de terrier à la lingule. Ailleurs les puits sont comblés massivement par la pyrite. Certains atteignent 3 mm. de diamètre; d'autres sont beaucoup plus grêles.

Le banc de schiste est surmonté d'une masse de grès, que surmonte la veinette située à 4-5 m. sous la veine Marguerite.

Au gisement du puits n° 2 Sainte-Aldegonde se rattache vraisemblablement celui rencontré par la ravale du siége Sainte-Marguerite des charbonnages de Ressaix, à 4 km. plus à l'Ouest, si bien que, dans le massif du Poirier, c'est sur une distance de plus de 20 km. que se jalonne à présent l'horizon de Quaregnon.

Peut-être faut-il y rattacher aussi le niveau à Lingules reconnu sous la couche Conreur aux siéges n°s 9 et 10 (Houssu) des charbonnages de Ressaix, à 2 km. 5 au Nord de l'alignement Sainte-Aldegonde-Sainte-Marguerite et à mi-distance entre ces fosses.

C'est là une des questions dont la solution permettra jusqu'à un certain point d'élucider la tectonique de ce coin de pays.

C'en sera une autre de préciser la position exacte du gisement dit du Centre Sud exploité au puits Saint-Éloi de l'ancienne concession Carnières, aujourd'hui rattachée à celle de Mariemont-Bascoup et contiguë à l'ancienne concession Sainte-Aldegonde : Si le puits Saint-Éloi a fourni d'intéressants documents paléontologiques, l'horizon de Quaregnon n'y a pas été identifié, et la seule dénomination de veine, celle de Fulvie, commune aux deux concessions, a manifestement été attribuée, de part et d'autre, à des veines différentes.

BIBLIOGRAPHIE

R. CAMBIER, 1906. Découverte dans le terrain houiller supérieur de Charleroi d'un nouvel horizon fossilifère marin (le plus élevé). (*Bull. de la Soc. belge de Géologie*, t. XX, Procès-verb., pp. 169-171.)

A. RENIER, 1922. Contributions à l'étude stratigraphique du bassin houiller de Charleroi. Trois gîtes nouveaux du niveau marin sous la couche Duchesse. (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. XLIV, pp. 126-129.)

— 1930. L'horizon marin de Quaregnon dans le gisement profond du siège Sainte-Aldegonde des Charbonnages de Ressaix, à Péronnes. (*Ibid.*, t. LIII, pp. B151-153.)

F. DENUIT, 1930. L'horizon marin de Quaregnon aux Charbonnages de La Louvière et de Ressaix, division de Houssu. (*Ibid.*, t. LIII, pp. B153-154.)

Contribution à l'étude de la roche éruptive de Challes (Stavelot),

par P. RONCHESNE, Dr Sc., Aspirant du F. N. R. S.

(Pl. I.)

HISTORIQUE. — La roche éruptive de Challes a été découverte par Fr. Dewalque. Elle fut signalée pour la première fois en 1868 par G. Dewalque, dans le Prodrome d'une description géologique de la Belgique (1).

En 1876, L. Chevron en fit l'analyse chimique (3).

En 1878, A. Renard en donna une description très détaillée (4).

Les nombreux auteurs qui, dans la suite, eurent à s'occuper du gisement et de la roche s'en rapportèrent à ce dernier travail. Il y eut cependant quelques faits d'observation nouveaux :

M. Barrois détermina sous le nom d'adinole une roche de l'éponte du dyke, qui lui avait été remise par J. Gosselet (9).

D'autre part, M. G. Cesàro (8) a étudié les groupements complexes de feldspath provenant des filonnets de quartz; il a défini sous le nom de macle de Challes un nouvel assemblage que M. J. Melon, dans des observations inédites, a montré correspondre à la macle que L. Duparc a désignée sous le nom d'Albite-Karlsbad.

M. M. Moressée (11) a signalé la présence de métaux précieux révélée par les recherches de M. de Winiwarter.

DESCRIPTION ET SITUATION DU GISEMENT. — La carrière ouverte dans la roche éruptive de Challes est située à flanc de coteau sur la rive gauche de l'Amblève, peu en amont du confluent de cette dernière rivière avec l'Eau Rouge. Elle forme une masse

rocheuse épaisse de cinq mètres environ, interstratifiée dans les quartzites et schistes du Revinien (direction S. 25° E., inclinaison 70° S). Nous reviendrons dans une prochaine étude sur la description détaillée des épontes.

M. Malaise aurait observé le prolongement du massif sur la rive opposée de l'Amblève.

ÉTUDE PÉTROGRAPHIQUE. — Macroscopiquement, la roche apparaît aphanitique, ne montrant rien, ni de sa composition, ni de sa structure. Par endroits, toutefois, on découvre quelques rares phénocristaux de feldspath et des mouches de sulfure. Des cassures sont tapissées d'asbeste. Un échantillon, qui nous a été communiqué par le Musée d'Histoire naturelle, est couvert de calcite. Des filonnets de quartz, pouvant atteindre 5 cm. d'épaisseur, sillonnent la masse; on y rencontre de l'asbeste, de la chlorite vermiculée, des sulfures et des cristaux d'albite; parmi les sulfures, la pyrite, la chalcopyrite et, d'après une observation que nous n'avons pu vérifier, de la pyrrhotine. La couleur de la roche fraîche est vert foncé; par altération elle devient vert clair à vert jaunâtre, grâce au développement de l'épidote. La roche est très compacte et très dure; c'est ce caractère qui détermina l'abandon de l'exploitation.

Dans son étude, A. Renard signale les divers minéraux mentionnés plus haut, sauf cependant l'albite des filonnets. La présence du minéral que nous rapportons à l'albite ne lui avait pas échappé; il en décrit la forme prismatique un peu aplatie, « les cannelures et l'accolement suivant l'axe vertical »; mais, à la suite d'un essai pyrognostique, il prend l'élément pour du quartz. Il rapporte donc à ce dernier minéral les cristaux maclés étudiés dans la suite par M. G. Cesàro.

La description microscopique d'A. Renard est très détaillée, notamment pour ce qui concerne les formes cristallographiques des éléments. Il a de cette façon parfaitement caractérisé les plagioclases et l'augite. Les matériaux d'étude semblent avoir été d'une fraîcheur exceptionnelle pour cette roche.

Les phénomènes d'ouralitisation des pyroxènes, ceux de chloritisation et d'albitisation des feldspaths sont minutieusement notés; mais le savant minéralogiste, en signalant l'existence d'une frange limpide autour des plagioclases, l'impute au fait que, moins chargée d'inclusions étrangères que le cœur des feldspaths, cette frange devait être moins poreuse et ne s'était pas prêtée de la sorte à l'altération. Nous interpréterons de tout autre manière cette observation.

Des essais chimiques, écrit-il, semblent indiquer que le feldspath primitif était du labrador.

A. Renard signale aussi les squelettes opaques en réseaux hexagonaux avec enduit blanchâtre de leucoxène. L'absence d'auréole d'hydrate de fer confirmerait qu'il s'agit d'ilménite et non de magnétite. Enfin, il décrit le quartz avec nombreuses enclaves liquides comme constituant par endroits la masse fondamentale de la roche; il le considère comme un produit de formation secondaire.

Nous avons essayé de pousser plus avant les observations en utilisant les méthodes de travail actuelles. Nous examinerons successivement les différents constituants de la roche.

Plagioclases. — A en juger par l'abondance des formes prismatiques encore discernables, les feldspaths devaient se trouver en forte proportion dans la roche primitive. Les prismes tendent à s'enchevêtrer et à réaliser la structure ophitique. Ils sont en général petits, dépassant rarement $30\mu \times 10\mu$. L'altération est fort avancée; les cristaux sont le plus souvent presque entièrement chloritisés et épidotisés.

Les éléments bien conservés sont rares; ils présentent souvent l'extinction onduleuse résultant sans doute de froissements mécaniques; parfois même ils montrent des cassures. Un zonage apparaît dans certains cristaux. Comme l'a noté A. Renard, les feldspaths renferment des inclusions étrangères, mais en assez faible proportion. Nous n'y avons pas trouvé d'apatite.

Les mesures des indices de réfraction que nous avons pu faire sur des éléments relativement frais indiquent que le plagioclase renferme au moins 40 à 50 % d'anorthite. Ce chiffre est un minimum, car on peut soupçonner dans le feldspath la présence du potassium, qui fait partie de la composition totale de la roche; comme on le sait, cet alcali a pour effet d'abaisser assez sensiblement l'indice de réfraction des plagioclases. La détermination, à la platine de Fédéroff, de la position des axes principaux d'élasticité nous a, d'autre part, conduit au labrador.

Nous avons reconnu dans les macles polysynthétiques, des hémitropies normales et des hémitropies parallèles, mais sans réussir à préciser davantage le type de la macle. Les feldspaths présentent presque tous une frange albitique qui est restée limpide, même autour des cristaux dont l'altération est la plus avancée (Pl. I, fig. 1); cette frange d'albite souligne encore

les contours des cristaux entièrement disparus. L'albite est de seconde formation; bien que le plagioclase sodique soit moins altérable que les feldspaths basiques, son état de fraîcheur nous fait penser qu'il s'est déposé autour des feldspaths déjà saussurritisés par des influences hydrothermales. Il s'agirait de phénomènes postmagmatiques attribuables aux solutions résiduaires de la cristallisation.

Augite. — L'augite est assez répandue dans la masse de la roche. Elle se présente sous forme de petites plages atteignant au plus un demi-millimètre; le pléochroïsme est faible, parfois discernable dans les tons rosés. Des groupements de petits grains de même orientation optique, séparés dans la lame mince par des éléments feldspathiques, doivent appartenir à des cristaux de plus grande dimension. L'altération est fort avancée. Elle se marque surtout dans les cassures par la présence d'amphibole verte d'ouralitisation et par la formation de chlorite. Nous n'avons pu reconnaître de formes cristallographiques, mais seulement certaines traces de macle mal identifiables. Nous avons observé un cas assez curieux d'épigénisation en calcite d'un des deux individus d'une macle d'augite (Pl. I, fig. 3).

Leucoxène. — La lame mince montre de nombreuses plages brunâtres translucides, présentant de minces squelettes opaques en réseaux hexagonaux (Pl. I, fig. 4). Comme l'a reconnu A. Renard, il ne peut s'agir que d'ilménite, presque entièrement transformée en leucoxène. Une analyse microchimique a révélé, dans les plages que nous décrivons, du fer et du titane. Leur grand développement fait présager une forte proportion de titane dans la roche, ce qui sera confirmé par l'analyse.

Chlorite. — La chlorite d'altération est fort abondante. Nous l'avons déjà signalée épigénisant les feldspaths et entourant le pyroxène. Elle se présente sous diverses formes, grenues, lamellaires et même vermiculées, ainsi que nous l'avons observée en agrégat au sein d'un filonnet de quartz. Pléochroïque dans les tons verts, elle montre par endroits des halos pléochroïques de tonalité brune.

Actinote. — Une amphibole, en fibres faiblement pléochroïques vert clair, se présente parfois en bordure du pyroxène. Nous l'avons déjà signalée sous forme d'asbeste tapissant des cassures de la roche; nous en avons observé aussi dans le quartz des filonnets.

Épidote. — L'épidote est très abondante dans la roche; elle se présente en granules dans toute la masse. Dans les échantillons de roche fort altérée, son abondance est telle qu'elle communique à la masse une teinte jaunâtre.

La zoïsite s'associe communément à l'épidote.

Calcite. — La calcite se présente sous forme de pigmentation irrégulière. Nous l'avons déjà signalée épigénisant l'un des deux individus d'une macle d'augite. Un de nos échantillons, prélevé au mur du massif et formé presque entièrement de calcite, montre encore les formes des feldspaths et de l'augite qui témoignent de l'origine éruptive de la roche (Pl. I, fig. 2).

Quartz. — De formation secondaire, le quartz occupe les interstices des autres minéraux. Il est très abondant, mais ne présente guère d'inclusions étrangères.

Pyrite. — Nous avons reconnu dans des sections polies quelques grains opaques, jaune brillant, à rapporter à la pyrite. Ce minéral forme parfois des traînées suivant les cassures de la roche.

Analyse chimique et classification. — Nous avons procédé à l'analyse chimique de la roche sur l'échantillon le plus frais que nous ayons pu recueillir. Nous rapprochons nos résultats (I) de ceux obtenus par L. Chevron (II).

Le calcul des paramètres magmatiques d'Iddings et de Niggli nous a conduit, pour les deux analyses, à peu près aux mêmes chiffres :

	I	II
SiO^2	49,23	48,26
Al^2O^3	17,29	17,99
Fe^2O^3	2,78	8,41
FeO	8,39	4,56
FeS^2	0,42	—
CaO	10,16	8,58
MgO	2,73	5,38
MnO	0,18	0,39
TiO^2	2,76	—
P^2O^5	—	0,19
K^2O	0,42	0,23
Na^2O	1,86	2,31
H^2O	3,28	2,80
	99,50	99,11

La composition virtuelle de la roche, d'après notre analyse, est la suivante : Quartz = 9,84; Orthose = 2,24; Albite = 15,72; Anorthite = 37,53; Ilménite = 5,17; Magnétite = 3,94; Enstatite = 6,80; Hypersthène = 8,58; Wollastonite = 5,45; Rhodonite = 0,26.

Paramètres d'Iddings = II.4(5).4.(4)5.

Paramètres de Niggli : $si = 132$; $al = 5,14$; $fm = 36$; $c = 30$; $alk = 5$; $k = 0,11$; $mg = 0,30$; $fm = 0,80$; $O = 0,15$.

Classification. — Dans la classification de P. Niggli, la roche se rattacherait aux magmas gabbroïques et, de façon plus précise, aux gabbros ossipitiques à facies diabasique. D'après S. J. Shand, la roche appartiendrait à la famille des « lime gabbro », mais sa texture aphanitique devrait la faire désigner comme basalte. D'après la composition virtuelle et en ne tenant pas compte du caractère secondaire du quartz, la roche serait un « quartz-gabbro » d'Iddings.

Par comparaison avec certains types décrits par M. Lacroix dans la *Minéralogie de Madagascar*, nous dénommerons cette roche microgabbro à facies diabasique.

Ce terme tient compte à la fois des caractères de composition et de structure, ainsi que du mode de gisement en dyke.

Laboratoire de pétrographie de l'Université de Louvain.

BIBLIOGRAPHIE

(1) G. Dewalque, Prodrome d'une description géologique de la Belgique, 1868, p. 300.

(2) C. Malaise, Sur quelques roches porphyriques de Belgique. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. 2, Bull., p. xliv, Liége, 1875.)

(3) L. Chevron, Analyses de quelques roches cristallines de Belgique et de l'Ardenne française. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. II, Mém., p. 192, Liége, 1876.)

(4) A. Renard, La diabase de Challes près de Stavelot. (*Bull. de l'Acad. roy. de Belg., Cl. des Sc.*, 2e sér., t. XLVI, pp. 228-239, Bruxelles, 1878.)

(5) C. Malaise et L. de Koninck, Rapport sur une note de M. A. Renard, intitulée : « La Diabase de Challes près de Stavelot ». (*Bull. de l'Acad. des Sciences*, t. XLVI, pp. 186-188, Bruxelles, 1878.)

(6) Delvaux, Note sur l'excursion de la Société géologique de Belgique à Spa, 1885. (*Ann. Soc. malac.*, t. XX, pp. 18 et 19.)

(7) G. Dewalque, Session extraordinaire à Spa. (*Ann. Soc. géol. de Bel gique*, p. 39, Liége, 1885.)

(8) G. Cesàro, L'Albite de Challes. (*Ann. Soc. de géol. de Belg.*, t. XIV, Bull., p. cxxxvi, Liége, 1887.)

(9) J. Gosselet, L'Ardenne, p. 136, Paris, 1888.

(10) J. Cornet, Géologie, Mons, 1921, t. II, p. 535; t. III, n° 1471.

(11) G. Moressée, Sur la présence de métaux précieux en Ardenne. (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. XLIV, pp. 202-204, Liége, 1922.)

Fig. 1. — Roche normale montrant les bordures albitiques limpides autour des plagioclases altérés. Nic. crois. × 60.

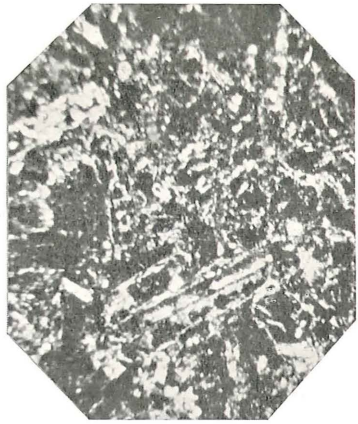

Fig. 2. — Roche épigénisée par la calcite, montrant par les formes squelettiques des feldspaths l'origine éruptive de la roche. Nic. crois. × 40.

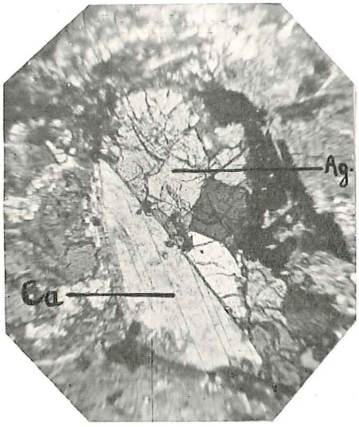

Fig. 3. — Macle d'augite dont l'individu de gauche est épigénisé par la calcite. Nic. crois. × 60.

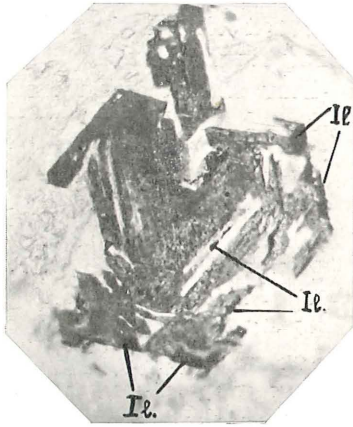

Fig. 4. — Leucoxène provenant de l'altération de fer titané en réseau hexagonal. Les parties opaques sont les restes de l'ilménite (Il.). Lum. ord. × 60.

P. RONCHESNE. — ROCHE ÉRUPTIVE DE CHALLES.

Note préliminaire sur la présence du Crétacé supérieur dans la zone littorale du Congo,

par EDMOND DARTEVELLE, Dr Sc.,
Assistant à l'Université libre de Bruxelles.

Le Fonds Jacques Cassel de l'Université libre de Bruxelles m'a chargé de d'effectuer, au cours de l'année 1933, une étude d'ensemble de la zone littorale du Congo, recherches qui m'avaient été indiquées par M. le prof^r Leriche.

De la zone littorale on connaissait les affleurements tertiaires de Landana et de Sassa-Zao, dont l'âge avait été déterminé par M. Leriche (1); quant aux affleurements signalés dans l'intérieur du pays, on les rangeait sous l'appellation « grès sublittoraux »; mais la présence certaine du Crétacé au Congo n'avait pas été prouvée (2).

Sur les roches cristallophylliennes de la bordure occidentale des Monts de Cristal repose un ensemble de couches gréseuses, sableuses ou calcaires, formations souvent très bitumineuses et qui paraissent plonger assez fortement vers l'Ouest.

C'est à ces roches que je limite l'expression de « grès sublittoraux »; quant à leur âge, je les rapporte provisoirement au Crétacé inférieur.

Je les ai trouvées à Tshimpanga (Congo belge) (3), à N'Cutu (Cabinda), où j'ai relevé plusieurs niveaux oolithiques, et à Bucco-Zao (Cabinda).

Il est probable que les roches signalées sur le flanc occidental du Mayumbe français, à Koné (4) et à Boukou-N'Sitou (5),

---

(1) M. LERICHE, Les Poissons paléocènes de Landana, in *Matériaux pour la Paléontologie du Bas et du Moyen-Congo. — Annales du Musée du Congo belge*, série III, t. I, fasc. 1, p. 67, Bruxelles, 1913. — IDEM, Sur les restes fossiles de la région côtière du Congo et sur la présence de l'Eocène dans cette région. (*C. R. Acad. des Sciences* [Paris], t. CLXIX, p. 479, 1919.)

(2) Cf. Notice explicative de la Carte géologique du Congo belge, présentée par le Ministère des Colonies, Bruxelles, 1931.

(3) J. CORNET, Notes sur la Géologie du Mayumbe occidental. (*Mém. Soc. des Sciences et Arts du Hainaut*, 6e série, t. IX, p. 28.)

(4) L. DUPARC et A. AMSTUTZ, Contribution à l'étude pétrographique du Maymbe, du Haut-Ogoué et des régions intermédiaires. (*Annales de la Société géologique de Belgique*, t. LIV, *Public. relat. au Congo belge et aux régions voisines* (1), p. c40, 1930-1931.)

(5) V. BABET, Observations géologiques dans la partie méridionale de l'Afrique équatoriale française, pp. 91 et 119, Paris, 1932.

appartiennent à la même formation, qui rejoindrait au Nord les « grès sublittoraux » typiques du Gabon et de la Guinée espagnole.

A l'Ouest de cette formation apparaissent les affleurements du Crétacé supérieur, qui débute par un poudingue affleurant près de Luali, à Shinfuku-Zobe, sur la rive droite de la Lukula.

Ce poudingue, fossilifère, est constitué par des galets plus ou moins volumineux de roches cristallophylliennes réunis par un ciment calcaire.

Au-dessus vient une série d'affleurements calcaires : les « Calcaires de Tumuna », très fossilifères, en bancs réguliers plongeant légèrement vers l'Ouest.

Il semble y avoir peut-être une discordance de stratification entre les couches que j'assimile au Crétacé inférieur et les « Calcaires de Tumuna ».

Un premier affleurement est situé sur la petite rivière Tombe, non loin du village de Kanzi (Bas-Congo); c'est un calcaire tendre, assez altéré, contenant de nombreuses empreintes de mollusques, en général assez frustes.

Feu le général Cabra avait, au cours de ses travaux de délimitation de la frontière Congo-Angola, signalé la présence d'un calcaire fossilifère dans la région de Shintwala (1).

En effet, au Nord de cette localité, dans la région comprise entre la borne de Siala et de Chinameculo, j'ai retrouvé ce calcaire, et, non loin de cette dernière borne, à l'endroit appelé par les indigènes Vonso, près du village de Tshinkwingele, j'ai pu effectuer une petite fouille.

Des affleurements de calcaire avaient été signalés en deux points du Shiloango situés en amont de Landana, par le major Freire d'Andrade (2) et par Diderrich (3).

Le premier, Chinfimo, n'est autre que le calcaire coquillier éocène exploré par M. Bequaert (4).

Quand au second il est situé non loin de Tumuna, au coude du fleuve, à l'endroit dit Manha Matadi. C'est un calcaire blanchâtre analogue à celui de Vonso.

---

(1) J. CORNET, Notes sur la Géologie du Mayumbe occidental (*loc. cit.*).

(2) P. CHOFFAT, Contribution à la connaissance géologique des colonies portugaises d'Afrique : II. Nouvelles données sur la zone littorale d'Angola. (*Commission du Service géologique du Portugal*, Lisbonne, 1905.)

(3) J. CORNET, Notes sur la Géologie du Mayumbe occidental (*loc. cit.*).

(4) J. BEQUAERT, Observations géologiques faites au cours d'un voyage dans l'Enclave de Cabinda et le Bas-Congo. (*Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléont. et d'Hydrol.*, t. XXXIII, fasc. 1, p. 18, 1923.)

Les « Calcaires de Tumuna » se dirigent vers la région côtière de l'Afrique Équatoriale française (A. É. F.) et rejoignent les affleurements sénoniens situés à Djéno, à M'Vassa (Fausse Pointe-Noire), à Pointe-Noire et aux environs.

Ces roches se composent d'un ensemble de grès calcarifères et bitumineux, souvent très fossilifères, faiblement ondulés.

Les fossiles récoltés, soit dans les « Calcaires de Tumuna », soit dans les affleurements de la côte de l'A. É. F., sont identiques; ils comprennent des empreintes de mollusques, de *Plicatula Ferryi* Coq., d'*Alectryonia semiplana* Sow., etc., de nombreux restes de poissons, parmi lesquels des dents de squales : de *Lamna* (*L. appendiculata* L. Agassiz), de *Scapanorynchus* (*Sc.* cf. *rhaphiodon* L. Agassiz) (1) et de *Corax* (*C.* cf. *Kaupi* L. Agassiz), ainsi que des fragments de squelette de reptile.

La présence de *Corax* cf. *Kaupi* permet de rapporter les « Calcaires de Tumuna » et les grès bitumineux de l'A. É. F. au Sénonien inférieur; en ce qui concerne ces derniers, cette conclusion rejoint à peu près celles de MM. V. Babet (2) et J. Lombard (3).

---

(1) J. Lombard décrivit deux dents de la falaise de Pointe-Noire; il les attribua à *Odontaspis macrota* et présuma la présence du Paléocène à cet endroit. Cf. Description de deux dents de *Lamnidae* de la falaise de Pointe-Noire (Afrique Équatoriale française) (*Comptes rendus des séances de la Soc. géol. de France*, 4e série, t. XXVIII, p. 283, 1928).

Il reconnut ensuite, grâce à l'extension des travaux du port, l'âge crétacé de la couche à poissons. Cf. J. Lombard et D. Schneegans, Sur la présence de l'Écocène marin à Futa (Afrique Équatoriale française). (*Comptes rendus Acad. des Sciences*, Paris, t. CXCV, p. 163, 1932.)

Il est probable qu'il s'agit de l'espèce *Scapanorynchus* cf. *rhaphiodon* L. Agassiz, qui est assez commune et dont j'ai trouvé de beaux exemplaires à Djéno et M'Vassa.

(2) V. Babet, Sur les grès néocrétacés de Pointe-Noire. (*C. R. Soc. géol. de France*, 4e série, t. XXVIII, p. 201, 1928.) — Ibid., Observations géologiques dans la partie méridionale de l'Afrique Équatoriale française (*loc. cit.*).

(3) J. Lombard, Notes préliminaires sur la Géologie de l'Afrique Équatoriale française : II. Observations nouvelles sur les formations entre Brazzaville et la côte Atlantique (*C. R. Soc. géol. de France*, 4e série, t. XXVIII, p. 231, 1928). — Idem, Observations nouvelles sur les formations géologiques entre Brazzaville et la côte Atlantique (Afrique Équatoriale française) (*Bull. Soc. géol. de France*, 4e série, t. XXVIII, p. 333, 1928). — Idem, Céphalopodes et Lamellibranches crétacés du Congo français (*ibid.*, 4e série, t. XXX, p. 277, 1930). — Idem, Sur le Crétacé du littoral gabonais (*C. R. Acad. des Sciences, Paris*, t. CXC, p. 1203, 1930). — Idem, *Mortoniceras quinquenodosum* Redtebacher, dans le banc coquillier de la Fausse Pointe-Noire (littoral du Congo français) (*C. R. Soc. géol. de France*, 4e série, t. XXXI, p. 210).

Il résulte de ces observations qu'il existe au Congo une bande de terrains crétacés supérieurs, de direction N. O.-S. E., affleurant depuis les environs de la rive du Congo jusqu'au littoral de l'A. É. F.

Ces terrains contiennent souvent des silicifications, des géodes de quartz, qui subsistent en des points où le calcaire crétacé ne se trouve plus, permettant de se rendre compte de son ancienne extension et de l'importance des dénudations.

A l'Ouest ils sont recouverts par les terrains tertiaires qui affleurent dans la zone comprise entre l'embouchure du Congo et celle du Shiloango.

Note préliminaire sur l'Éocène de la zone littorale du Congo,

par EDMOND DARTEVELLE, Dr Sc.,
Assistant à l'Université libre de Bruxelles.

Les restes fossiles rapportés par M. Bequaert de Sassa-Zao furent étudiés par M. Leriche, qui conclut à leur âge éocène (1).

La roche de Sassa-Zao (2) est un calcaire blanc silicifié par places et très coquillier; j'y ai recueilli une faune abondante de vertébrés, mollusques, crustacés, polypiers, etc., faune présentant à première vue beaucoup d'affinités avec celle du Calcaire grossier du bassin de Paris.

L'érosion a déterminé au niveau du fleuve une profonde excavation dans laquelle s'est déposée de l'argile; cette argile, évidemment récente, contient, à côté de divers débris végétaux actuels, des résidus de la décalcification de la roche : blocs plus ou moins volumineux de calcaire silicifié, moules de coquilles, restes de poissons et dents de squales.

---

(1) M. LERICHE, Sur les Poissons fossiles de la région côtière du Congo et sur la présence de l'Éocène dans cette région. (*C. R. Acad. des Sciences*, Paris, t. CLXIX, 1919, p. 479.)

(2) L'affleurement de Calcaire éocène est en réalité situé sur la berge du Shiloango, au village de Chinfime; il avait été déjà signalé à cet endroit par Freire d'Andrade, Diderrich...

L'endroit, nommé Sassa-Zao, est à 2 kilomètres environ au Sud-Ouest de Chinfime; son nom rappelle que l'éléphant existait auparavant dans cette région; actuellement c'est le siège d'une plantation appartenant à la Compagnie de Cabinda.

C'est la présence de ces fossiles qui a fait croire à l'existence d'argile intercalée.

J'ai pu observer les couches éocènes également à Landana; la coupe de la falaise de cette localité a été relevée avec beaucoup de soin par M. Bequaert, mais celui-ci ne s'est occupé que de la partie Nord de cette falaise (1).

On remarque une succession d'argiles marneuses et d'intercalations de grès calcareux, divisé par un cordon littoral que M. Becquaert a appelé « couche à coprolithes » (2).

La partie inférieure, caractérisée par la présence de *Nautilus landanensis* Vincent, est incontestablement d'âge montien (Paléocène) (3); quant aux couches supérieures à la « couche » à coprolithes », elles sont sans doute d'âge plus récent.

A ces argiles succède un calcaire blanchâtre, contenant de nombreux oursins; sa partie supérieure est profondément perforée par des animaux lithophages et il est surmonté d'un gravier.

Au-dessus du gravier vient un nouveau calcaire, qui est tout à fait semblable à celui de Sassa-Zao et dont la faune est également identique à celle signalée par M. Leriche (4).

J'ai notamment trouvé les espèces caractéristiques suivantes : *Odontaspis cuspidata* L. Agassiz prémut. *Hopei* L. Agassiz; *Myliobatis toliapicus* L. Agassiz; *Aetobatis irregularis* L. Agassiz; *Cylindracanthus rectus* L. Agassiz, etc.

L'affleurement de ces roches relativement dures est la cause géographique du cap de Landana, ce qui rend leur découverte et leur exploration très difficiles.

Toutefois, une circonstance favorable m'a permis de rapporter une belle collection de fossiles de ce calcaire; près du cap, les eaux d'infiltration ont formé une grotte d'assez grandes

---

(1) J. BEQUAERT, Observations géologiques faites au cours d'un voyage dans l'Enclave de Cabinda et le Bas-Congo. (*Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, t. XXXIII, fasc. I, p. 18, 1923.)

(2) Ce cordon littoral est en effet formé principalement de déjections fossiles provenant de requins, comme le montrent les traces de valvule spirale, de corps plus gros en moins grand nombre, fèces d'autres vertébrés avec quelques cailloux roulés.

(3) M. LERICHE, Les Poissons paléocènes de Landana, in *Matériaux pour la Paléontologie du Bas et du Moyen-Congo. — Annales du Musée du Congo belge*, série III, t. I, fasc. 1, p. 67, Bruxelles, 1913.

(4) M. LERICHE, Sur les Poissons fossiles de la région côtière du Congo. (*Loc. cit.*). — IDEM, Notes sur la Paléontologie du Congo. III. Note préliminaire sur les Poissons nouveaux du Paléocène et de l'Eocène du Congo. (*Revue zoologique africaine*, 8, p. 87, 1920.)

dimensions, dans laquelle, sous des dépôts récents, se trouvent les résidus de la décalcification de la roche (1).

Parmi ceux-ci, à côté de blocs de calcaire silicifiés, de moules de coquilles, se trouvent de nombreux restes de vertébrés.

J'ai découvert un troisième affleurement de l'Éocène, au Congo belge, sur la rive gauche de la Bola, au village de Bololo, près du signal géodésique J 12.

C'est un grès dur qui m'a livré une faune identique à celle de Sassa-Zao; parmi celle-ci j'ai pu distinguer notamment les mêmes restes de poissons que ceux que je signale de l'Éocène de Landana.

Quant aux fossiles éocènes signalés par MM. Lombard et Schneegans dans les sables des marais de la Loeme à Futa (2), je pense qu'il s'agit d'espèces actuelles qui par suite du mauvais état de conservation ont été confondues avec des espèces fossiles.

Je compte revenir sur ce sujet; mais dès à présent je puis conclure qu'au Congo l'Éocène semble limité à la région comprise entre le fleuve et le Shiloango.

Les vallées sèches de la Hesbaye liégeoise (3),

par CH. STEVENS.

Souvent, on définit une vallée sèche en disant que son thalweg se trouve à un niveau supérieur à celui de la nappe aquifère. C'est une définition commode qui, d'ailleurs, ne répond pas à tous les cas.

Certes, on conçoit difficilement qu'une vallée puisse être sèche lorsqu'une nappe aquifère dégorge des eaux sur ses flancs;

(1) Le capitaine-commandant Zboinski a signalé jadis l'existence de vastes grottes dans la falaise de Landana : ZBOINSKI, Essai géologique du Bas-Congo, de l'embouchure à Manyanya et au delà vers le Stanley-Pool. (*Bull. de la Soc. belge de Géologie, de Paléont. et d'Hydrol.*, t. I, Mém., p. 36, 1887.)

(2) J. LOMBARD et D. SCHNEEGANS, Sur la présence de l'Eocène marin à Fouta (Afrique Équatoriale française). (*C. R. de l'Académie des Sciences*, Paris, t. CXCX, 1932, p. 163.)

(3) Pour suivre complètement le développement de cette étude, il convient de se reporter aux planchettes au 20.000e suivantes : Looz, Tongres, Herderen, Veldwezelt, Montenaeken, Waremme, Momalle, Alleur, Liége, Braives, Jehay-Bodegnée, Saint-Georges. A leur défaut, les cartes au 40.000e de Saint-Trond, Tongres, Waremme, Liége. En outre, consulter les cartes géologiques concernant la région.

tout au moins, peut-on penser qu'une telle situation donne lieu à des ruisseaux intermittents; mais il ne serait pas difficile de démontrer qu'il existe des nappes si faiblement alimentées, qu'elles ne peuvent donner naissance à aucune source, ni même à aucun suintement.

Aux yeux du morphologiste, cette définition offre encore l'inconvénient de ne pas tenir compte des conditions génétiques.

Pour lui, la vallée est un résultat d'érosion, et l'agent essentiel de cette érosion est l'*eau*. Si la vallée est suffisamment longue, l'action intermittente du ruissellement ne suffit plus pour expliquer sa formation; il faut recourir à l'action d'une eau courante, à celle d'un ruisseau permanent ou d'une rivière. Or, la vallée est sèche : le ruisseau ou la rivière a disparu.

Quelles sont les causes de cette disparition? Pour le géologue comme pour le morphologiste, c'est tout l'intérêt du problème.

Ces causes peuvent être très nombreuses et interférer entre elles. L'évolution morphologique d'un pays peut donner lieu à des captures que l'évolution tectonique peut faciliter en créant des rivières transséquentes, comme la Sambre-Meuse et le Démer; elle peut aussi donner lieu à des scissions comme celle de l'ancien Yser dans la dépression de Thourout (1).

Les réductions de méandres abandonnent également des fragments de vallées sèches.

En pays calcaire, la formation des dolines et les pertes de rivières donnent lieu à un réseau, parfois très compliqué, de vallées sèches abandonnées à divers stades de l'évolution morphologique de la région, comme c'est le cas dans le Karst.

Enfin, il faut tenir compte de la dénudation générale du pays. En faisant disparaître des assises argileuses très généralisées, elle fait aussi disparaître les nappes aquifères qu'elles portaient. Ainsi s'anéantissent de nombreuses sources dont les eaux constituaient un puissant agent d'érosion. De cette manière, j'ai expliqué l'existence de vallées sèches et l'évolution morphologique des abords Sud de Louvain (2).

On le voit, l'origine des vallées sèches est imputable à des causes si diverses qu'elle doit être étudiée dans chaque cas par-

---

(1) CH. STEVENS, Considérations sur la Morphologie de la Flandre occidentale. (*Ann. Société scientifique de Bruxelles*, t. LII [1932], série B, pp. 70-77.)

(2) IDEM, Sur quelques formes topographiques anciennes au Sud de Louvain. (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XLII [1932], pp. 149-154.)

ticulier. Ce n'est donc pas sans raison que j'ai signalé l'insuffisance de leur définition.

En Belgique, les vallées et les vallons secs sont nombreux. Ils constituent un élément morphologique très généralisé au Nord des sillons de la Haine et de la Sambre-Meuse, notamment dans le Hainaut, la province de Namur, la province de Liége et le Sud du Brabant. On ne peut déployer une planchette au 20.000e relative à ces régions sans en constater à la fois l'impor-

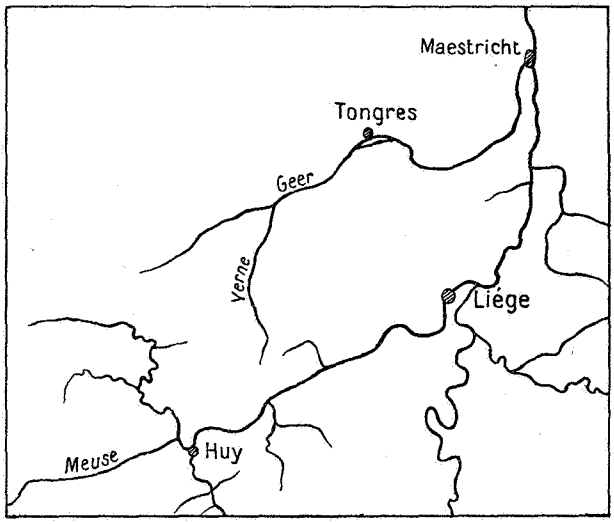

FIG. 1. — **La Hesbaye liégeoise.**

tance et l'abondance, quelle que soit la nature du sous-sol : sableux, argileux ou crayeux [1].

Pour le morphologiste qui étudie la Belgique, on peut donc dire que l'étude du réseau hydrographique ne constitue qu'un aspect insuffisant de la question. Il doit compléter ses recherches par l'étude de tous ces vallons qui poussent leurs ramifications jusqu'aux lignes théoriques de partage des eaux.

Si l'on consulte une carte hydrographique de la Belgique, la Hesbaye liégeoise paraît être un plateau d'environ 12 kilomètres de largeur, compris entre le sillon de Sambre-Meuse et le Geer. Il borde immédiatement au Nord les jeunes érosions de la Meuse, qu'il domine d'environ 130 mètres, en atteignant exceptionnellement la cote 200 (fig. 1).

---

[1] Voir notamment à ce sujet les planchettes UCCLE (sables divers), PECQ et CELLES (argile yprésienne).

Dans l'ensemble, elle a l'apparence d'un glacis descendant insensiblement vers le N.-N.-W., pour arriver à une altitude d'environ 125 mètres au Sud du Geer.

Elle est remarquablement privée de cours d'eau. Seule, *la Yerne*, qui passe à Remicourt et qui prend sa source à 4 kilomètres de la Meuse, la traverse de part en part.

Le pays est recouvert d'un épais manteau de limons quaternaires, d'âges divers. Comme le sous-sol est uniquement formé de Crétacé ou de sables tertiaires, on serait tenté de signaler la Hesbaye liégeoise comme un exemple classique de région crayeuse, très perméable, dénuée de ruissellement, à topographie indécise. Il n'en est pas tout à fait ainsi.

En effet, ce plateau est sillonné de nombreuses vallées sèches. Lorsque, sur la carte, on suit les thalwegs qu'elles dessinent, *on fait renaître un réseau hydrographique remarquablement serré et développé.*

Né sur la bordure même du sillon de Sambre-Meuse, il s'enfonce graduellement vers le Nord et peut atteindre un encaissement d'une quarantaine de mètres (Paifve). Ce ne sont donc plus de simples vallons. Ce sont d'incontestables vallées atteignant la longueur et la profondeur de maintes autres vallées de la Moyenne-Belgique.

On peut les classer en sept groupes qui, tous, aboutissent au Geer :

1° les tributaires du Geer en amont de la Yerne;
2° les tributaires de la Yerne;
3° les tributaires de la vallée de Thys;
4° les tributaires de la vallée de Russon;
5° les tributaires de la vallée de Freeren;
6° les tributaires de la vallée de Paifve (utilisée depuis Villers-Saint-Siméon par le chemin de fer de Liége à Tongres);
7° les tributaires d'aval.

Une carte d'ensemble (fig. 2) impose d'importantes considérations :

1° Il s'agit d'un *réseau remarquablement serré.* C'est le caractère des réseaux hydrographiques nés sur un recouvrement peu perméable.

2° Il présente des déformations qui l'apparentent aux bassins de la Moyenne-Belgique.

3° Sauf pour quelques tributaires situés en amont de la Yerne, le réseau tout entier prend naissance en bordure du sillon de Sambre-Meuse.

En ce qui concerne le 1°, nous constatons un désaccord entre la densité du réseau et la nature du sol.

Le terrain superficiel est formé par un limon, appelé autrefois le *limon hesbayen*, dont il constituait le type, mais qu'on apparente aujourd'hui au *lœss*. Le fait que les vallées se développent sur plus de dix kilomètres, sans cesser d'être sèches, suffirait à démontrer la perméabilité du sol.

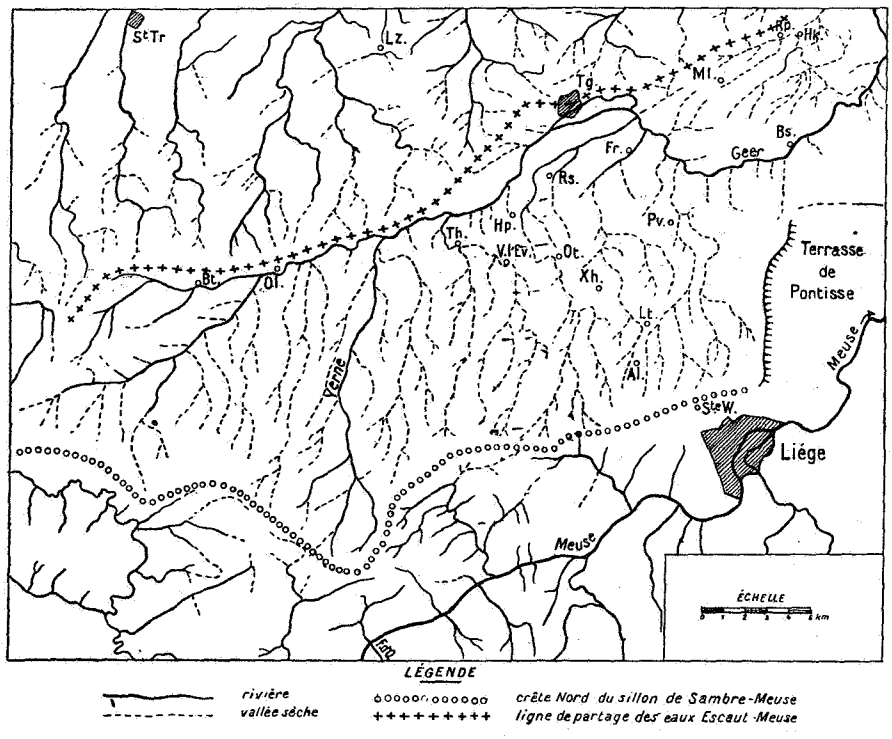

FIG. 2. — **Les vallées sèches de la Hesbaye liégeoise.**

ABRÉVIATIONS RELATIVES A LA FIGURE 2.

Al. — Alleur.	Lt. — Lantin.	Rs. — Russon.
Bs. — Bassange.	Lz. — Looz.	St Tr. — Saint-Trond.
Bt. — Bettencourt.	Ml. — Millen.	Ste W. — Sainte-Walburge.
Fr. — Freeren.	Ol. — Oleye.	Th. — Thys.
F. d'O. — Fonds d'Oxhe.	Ot. — Othée.	Tg. — Tongres.
Hk. — Heukelom.	Pv. — Paifve.	V. l'Ev. — Villers-l'Évêque.
Hp. — Herstappe.	Rp. — Riempst.	Xh. — Xhendremael.

Mais cette permeabilité a été effectivement démontrée, il y a plus de trente ans, par W. Spring [1]. Nous croyons qu'elle

[1] W. SPRING, Recherches expérimentales sur la filtration et la pénétration de l'eau dans le sable et le limon. (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. XXIX [1902], Mém., pp. 17-47.)

est encore plus grande que l'a indiqué ce consciencieux expérimentateur. Cette remarque découle des conclusions mêmes des expériences de W. Spring, qui montrent que le grand obstacle à la perméabilité est la difficulté rencontrée par l'air ou les gaz pour se dégager.

En second lieu, la pénétration de l'eau en milieu argileux se traduit toujours par une augmentation de volume de la masse argileuse. Or, le dégagement gazeux et le gonflement du limon doivent se produire plus aisément en milieu libre que dans une expérience de laboratoire.

Mais les expériences de W. Spring ont néanmoins démontré qu'au sein du limon hesbayen la filtration est lente. On en déduira qu'après des pluies abondantes l'eau ruisselle.

Ce ruissellement est trop intermittent pour avoir été la cause de la formation des vallées sèches. Il est possible qu'il contribue, tout au plus, à leur maintien. Encore, n'est-ce pas démontré. Je crois, au contraire, qu'il agit surtout vis-à-vis des thalwegs comme un agent de sédimentation.

La pente du flanc des vallées permet aux filets d'eau d'éroder le limon et de le déposer, à l'état remanié, dans les fonds, où aucun ruisseau ne vient le reprendre. Ce remaniement perpétuel du *lœss* n'est pas une des moindres difficultés de l'étude des limons quaternaires. Érosion ou sédimentation variant perpétuellement selon les circonstances de temps et de lieu.

A mon avis, le ruissellement tend bien plus à effacer les formes topographiques de la Hesbaye liégeoise qu'à les créer ou même à les conserver, *sauf vers l'amont*, où l'érosion régressive s'exerce au sein du limon lui-même.

Le problème de la formation des vallées sèches de la Hesbaye liégeoise reste donc entier. Ne pouvant avoir été creusées dans le limon, il n'y a qu'une explication possible :

Les vallées sèches de la Hesbaye liégeoise proviennent d'une érosion fluviale antérieure à la formation du limon hesbayen. Celui-ci, d'origine éolienne, n'a fait que colmater les formes anciennes, comme la neige recouvre, en les colmatant, les formes sur lesquelles elle tombe.

C'est ainsi que l'existence des vallées sèches de la Hesbaye liégeoise tend à confirmer l'hypothèse de l'origine éolienne du « lœss ». Et cette explication s'applique à la grande majorité des vallées sèches de la Moyenne-Belgique.

La pente générale de la Hesbaye liégeoise est dirigée vers le N.-N.-W. Si aucun mouvement du sol n'était venu troubler

l'évolution morphologique, les vallées sèches devraient former un réseau conséquent, bien régulier.

Il en est partiellement ainsi. Mais nous remarquons la disposition du 3e groupe, entre Villers-l'Évêque et Thys, du 4e groupe, entre Xhendremael et Herstappe, ainsi que la déviation des groupes de Russon et de Feeren, si conforme à celle du Geer vers Tongres.

La disposition des 3e et 4e groupes reproduit, d'une façon remarquable, celle que j'ai signalée dans le Bassin de la Gette (1). Cette dissymétrie des bassins ne peut être attribuée qu'à des déformations du sol, à des directions de surélévations tectoniques, orientées du S.-E. vers le N.-W. *Si nous ne nous basons que sur des indications morphologiques*, je pense qu'un de ces axes passe par le plateau de Sainte-Walburge, en direction de Xhendremael et d'Othée.

L'existence d'axes de ce genre expliquerait, à la fois, la boucle du Geer vers Tongres, la disposition inverse du réseau sec autour d'Alleur et de Lantin, la divergence des vallons secs autour de Sainte-Walburge et, peut-être, la déformation de la terrasse principale de la Meuse, signalée par Melle Mouchamps (2).

Le surélévation tectonique, dont nous soupçonnons l'existence, n'est d'ailleurs pas une inconnue. Plus au Nord, on pouvait la déterminer depuis longtemps, grâce au relèvement graduel des assises éocènes vers l'Est. C'est la *surélévation du Limbourg* (3). Elle est conforme à la direction des axes tectoniques rhénans, qui, dans la région liégeoise, interfèrent avec les axes varisques.

Il y a déjà trente ans qu'une carte de M. Kraentzel indique une déformation des assises crétacées, si conforme à la boucle du Geer vers Tongres, et qu'elle indique aussi qu'à Visé, la Meuse coule dans une dépression synclinale de l'assise de Spiennes (4).

---

(1) CH. STEVENS, Le bassin hydrographique de la Gette. (*Ann. Soc. scientif. de Bruxelles*, t. LII [1932], série B, pp. 70-77.)

(2) LUCIENNE MOUCHAMPS, Les terrasses de la Sambre-Meuse. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. LVI [1932-1933], pp. 232-248.)

(3) Voir notamment à ce sujet : MUSÉE ROYAL D'HISTOIRE NATURELLE DE BELGIQUE, Explication de la feuille de Saint-Trond. — Explication de la feuille de Heers, par A. RUTOT et par E. VAN DEN BROECK (1884) et CH. STEVENS, Quelques remarques sur la Morphologie de la Belgique. (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. LI [1931], pp. 124-124.)

(4) F. KRAENTZEL, Le Bassin du Geer. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, Liége, t. XXXII [1904-1905], Mém., p. M 26.)

*

Mais c'est surtout vers le Sud que cette interférence a été puissante, puisqu'elle forme la grande aire de surélévation jalonnée par l'anticlinal transversal de Fraipont.

C'est dans le massif de Stavelot, ne l'oublions pas, que l'on observe la plus forte surimposition des vallées aux anciennes pénéplaines.

C'est encore dans ce massif que M. A. Renier a découvert, sous la forme de *kieseloolithes*, les vestiges de la transgression du Pliocène supérieur, vers la cote 550, à l'altitude la plus élevée qu'on lui connaisse en Belgique. Ce point se trouve dans le bassin supérieur de la Gileppe, sur les pentes Nord du massif de la Baraque Michel (1).

Depuis le retrait de la mer du Pliocène supérieur, ce massif s'est donc élevé d'au moins 550 mètres. Et ceci mérite une digression.

Certes, la surrection postpliocène a intéressé la Belgique entière; mais, dans les autres parties de notre pays, elle s'est manifestée à un degré beaucoup plus faible; *elle a été irrégulière* : il serait puéril de croire que cette surrection s'est manifestée comme si l'on soulevait un couvercle de pupitre. Elle a été accompagnée de déformations tectoniques importantes, dont certaines se poursuivent encore sous nos yeux d'une façon sensible. Il est remarquable que c'est dans le massif de la Baraque Michel, dans la prolongation de la surélévation du Limbourg, qu'elle s'est accentuée avec le plus d'intensité.

Cette importante déformation intéresse une région beaucoup plus étendue que celle qui comprend le massif cambrien de Stavelot. Aussi mérite-t-elle d'être désignée sous une appellation propre. Je l'appellerai *surélévation des Hautes-Fanges*.

Ces considérations montrent, si c'était encore nécessaire, combien sont peu probables les glaciations de la Baraque Michel. Rien ne prouve, en effet, qu'à l'époque des grandes glaciations quaternaires, la Baraque Michel ait atteint l'altitude que nous lui connaissons aujourd'hui.

C'est même le contraire qui est le plus probable (2).

La surélévation des Hautes-Fanges intéresse une région très

---

(1) A. Renier, Session extraordinaire de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie, tenue à Eupen les 7, 8, 9 et 10 septembre 1925. Compte rendu. (*Bull. Soc. belge de Géol.*, etc., t. XXXV [1925], p. 234.)

(2) A. Renier, Le style tectonique d'ensemble de la Moyenne et de la Basse Belgique. (*Ann. Soc. Scientif. de Bruxelles*, t. 34 [1926], p. 298.)

étendue, au carrefour de deux axes tectoniques importants, l'un appelé *anticlinal de l'Ardenne*, l'autre *anticlinal transversal de Fraipont*.

Cette surélévation, très marquée par la carte hypsométrique de la Belgique, se décompose en un grand nombre d'accidents secondaires. Elle se manifeste encore dans le Pays de Herve, dont Melle Mouchamps rappelle le rajeunissement récent du réseau hydrographique (1).

Comme le disait M. A. Renier, en 1925 : « Pour juger du détail du mouvement du sol, il n'est plus aujourd'hui permis de relier simplement par la pensée le Pays de Herve aux faîtes de l'Ardenne » (2).

Cette considération est très importante si l'on veut étudier la morphologie de détail. Le Pays de Herve, compris si nettement dans la surélévation d'ensemble, possède néanmoins ses caractères morphologiques propres, en rapport avec une structure tectonique déjà signalée par Forir.

Cette région est remarquable par les vestiges de la pénéplaine postpliocène, tels que les plateaux des Trois Cheminées et de Herve, bordés par les profondes dépressions de la Berwinne et de Soumagne (3).

Rien de comparable n'existe au Sud de la Vesdre. Quand, au débouché de Fléron, on arrive sur le plateau, le regard se porte aisément vers les croupes de la Baraque Michel; mais on perçoit, en même temps, le rôle considérable joué dans cette morphologie par le *Bassin de la Vesdre*, qui crée un hiatus entre les deux régions (4).

Mais, dans son ensemble, la surélévation des Hautes-Fanges constitue, en Belgique, l'un des traits les plus caractéristiques de la tectonique plio-pléistocène.

Revenons à la Hesbaye liégeoise.

---

(1) LUCIENNE MOUCHAMPS, *op. cit.*

(2) A. RENIER (1925), *op. cit.*

(3) Voir à ce sujet : A. BRIQUET, La pénéplaine du Nord de la France. (*Ann. de Géographie*, Paris, XVIIe année, n° 93, 15 mai 1908, pp. 205-223.)

(4) L'origine tectonique de la vallée de la Vesdre avait été entrevue par J. CORNET dans ses *Etudes sur l'Evolution des Rivières belges*. Cette interprétation devait lui paraître logique, cette rivière prolongeant vers l'Est le sillon de Sambre-Meuse. En réalité, elle se divise en : *a*) la section située en amont de Nessonvaux est conforme à la direction varisque des axes tectoniques hercyniens; *b*) la section située en aval est déviée par l'influence de l'anticlinal de Fraipont sur le recouvrement postprimaire.

En Ardenne, il ne faut jamais perdre de vue que c'est sur ce recouvrement que le réseau hydrographique s'est formé.

Nous avons vu que si l'on en excepte quelques tributaires, situés en amont, toutes les vallées sèches commencent à se dessiner à la crête Nord de Sambre-Meuse, à une distance du fleuve qui n'excède pas 6 kilomètres.

Au Nord, c'est une pénéplaine faiblement inclinée, de pente presque uniforme, ne descendant guère au-dessous de 7 pour mille.

Au Sud, ce sont les jeunes érosions de la Meuse qui, en face de Sainte-Walburge, descendent de 160 mètres sur moins de 2,400 mètres, soit une pente d'environ 65 pour mille. Le gradient des pentes vers la Meuse n'est pas loin d'être décuple du gradient des pentes vers le Geer.

Cette puissante érosion de la Sambre-Meuse est en rapport avec son origine tectonique et avec sa jeunesse. Il est admis aujourd'hui qu'elle a joué un rôle transséquent vis-à-vis des rivières conséquentes qui coulaient du Sud au Nord.

Comme les vallées sèches prennent naissance à la crête Nord du fleuve, il est intéressant de vérifier s'il ne s'agit pas de filets conséquents décapités par la Sambre-Meuse. S'il en était ainsi, il semble, tout au moins à première vue, qu'ils devraient posséder, même à proximité de leur origine, une vallée suffisamment profonde en rapport avec leur ancien développement vers le Sud.

Comme nous avons admis qu'il s'agit d'anciens vallons colmatés par les apports éoliens du *lœss*, nous pourrions vérifier, en même temps, si ces vallées, tracées à la surface, correspondent réellement à des dépressions creusées dans le soubassement crétacé et tertiaire.

Dans la partie septentrionale des vallées, leur creusement superficiel s'accuse sur 20 à 40 mètres. *Cette vérification n'y est donc pas nécessaire, puisque le creusement y est, de loin, supérieur à toutes les épaisseurs connues des limons quaternaires. Il doit donc avoir entamé le soubassement secondaire ou tertiaire.*

Cette disposition se poursuit encore notablement vers l'amont, où les creux s'accusent généralement sur une vingtaine de mètres.

Il n'en est plus ainsi vers l'extrême-amont, notamment dans la région d'Hognoul-Lantin, où nous disposons des documents laissés par les sondages qui ont précédé le creusement de la grande galerie de captage de la Distribution d'eau de la ville de Liége.

Malheureusement, des sondages, même très serrés, ne rem-

placent pas une coupe géologique fournie par la nature. Lorsque leur alignement recoupe une série de vallons souterrains, il n'existe qu'une bien faible chance pour que les coups de sonde aient précisément atteint les points situés le plus haut et les points situés le plus bas.

L'interprétation du document profond, au point de vue géologique, ne vaut donc pas celle de la carte topographique, au point de vue morphologique. Néanmoins, et ceci est remarquable : *presque toujours, ces sondages décèlent, sous les limons quaternaires, une certaine concordance entre la topographie souterraine et la topographie de surface; mais elle y semble beaucoup moins accusée.*

Pour quelles raisons l'hypothèse, qui se vérifie si bien en aval, ne se vérifie-t-elle plus aussi nettement dans l'extrême-amont, en bordure de la Meuse, aux points où cette vérification serait la plus intéressante?

Faut-il en conclure que nos hypothèses sont controuvées? Nullement, et voici pourquoi :

D'abord, rappelons-le, l'observation des sondages ne vaut pas, dans son domaine, ce que vaut l'observation du sol à la surface.

Ensuite, les documents que je possède n'indiquent que le sommet des terrains tertiaires ou secondaires. Ils négligent de marquer une démarcation entre le *lœss* et les limons inférieurs. Or, nous avons quelques raisons de croire que les vallées sont mieux marquées dans ces derniers.

Enfin, j'ai rappelé qu'en Belgique, l'observateur peu familiarisé avec cet aspect de l'étude géologique peut avoir la tendance d'attribuer aux temps quaternaires une durée beaucoup trop restreinte. La succession des périodes glaciaires et interglaciaires implique une durée beaucoup plus grande que ne le laissent apercevoir quelques mètres de limon.

J'ai admis précédemment que l'âge de notre réseau hydrographique remonte probablement, tout au plus, au Pliocène supérieur ([1]). Pour être plus précis, je crois qu'il faut le placer au début de la période continentale qui marque l'aurore des temps quaternaires.

Il s'est poursuivi, avec une fortune variable, après le dépôt de tous les limons.

([1]) CH. STEVENS, L'âge du réseau hydrographique belge. — La tectonique plio-pléistocène en Belgique. (*Ann. Soc. scientif. de Bruxelles* [Louvain], t. LIII, série B [26 oct. 1933], 3e section, pp. 249-270.)

Or, en Hesbaye liégeoise, au point de vue de l'évolution morphologique, où en sommes-nous?

De la correspondance du réseau hydrographique entre le Sud du sillon de Sambre-Meuse et le Nord, il ne subsiste plus que quelques vestiges incontestables : les groupes Eau d'Heure-Piéton; Hoyoux-Méhaigne; Ourthe-Meuse.

Depuis la formation du sillon de Sambre-Meuse, ces groupes, pour certaines raisons, dépendant des circonstances locales, se sont adaptés aux conditions nouvelles, tout en conservant quelques traces de l'ancien régime. Les raisons pour lesquelles ils se sont conservés peuvent être d'ordres divers. En premier lieu, il faut envisager la richesse du débit permettant à l'érosion verticale de vaincre graduellement les résistances opposées par la lente déformation du sol; il faut envisager aussi une situation tectonique favorable.

Mais de tous ces survivants des temps révolus, seule l'Ourthe-Meuse allait encore porter, sans discontinuité, son débouché fluvial dans le bassin rhénan. Ici, il faut en trouver la raison bien plus dans l'apport considérable du débit de la Sambre-Meuse et du développement normal de son bassin méridional que dans les causes tectoniques, puisque la Meuse traverse, à Liége, la surélévation transversale Limbourg-Hautes-Fanges.

Mais les actions tectoniques n'ont pas été sans influence sur le régime de la Meuse.

En aval de Liége, c'est cette surélévation, rajeunie récemment, qui, concurremment à la remise en jeu du graben de Ruremonde, a contribué à imprimer à la Meuse inférieure un retour relatif au stade torrentiel.

Il est certain que le cours de la Sambre-Meuse ne s'est pas établi tout à coup. Il s'est d'abord amorcé par quelques tronçons que l'érosion régressive, orientée par l'affaissement tectonique, devait amener à se joindre vers leurs sources.

En attendant, les troncs intermédiaires, déjà plus faibles, s'affaiblissaient encore de tous les apports de leurs débits méridionaux. Ce sont ces troncs affaiblis qui ont donné naissance aux vallées sèches semblables à celles de la Hesbaye liégeoise.

Pourtant, ne l'oublions pas, la dénudation générale ne cessait de progresser. En Hesbaye liégeoise, son œuvre a été considérable, puisque avant le dépôt des formations quaternaires nous notons la disparition des assises du Pliocène et la presque totalité de l'Oligocène. On conçoit qu'en présence de rivières d'un aussi faible débit, ce fut surtout l'œuvre du ruissellement. En

même temps, les formes des vallées s'estompaient progressivement.

Vers l'aval, régies par leurs niveaux de base dans le Geer, elles conservaient leurs formes profondes. Vers l'amont, avant le dépôt du *lœss*, cette profondeur s'atténuait insensiblement jusqu'à faire disparaître la trace certaine de leurs anciens prolongements vers le Sud.

Postérieurement au dépôt du *lœss*, l'érosion régressive s'est exercée dans le *lœss* lui-même, plus ou moins orientée par le tracé de la vallée profonde. Mais *il peut ne pas exister une concordance absolue entre les deux thalwegs, ni dans la direction, ni dans l'importance du creusement.*

En dépit de cette hypothèse vraisemblable, je persiste à croire que les vallées sont nettement tracées dans les limons inférieurs.

Malgré tout, il subsiste quelque chose de l'ancien état : c'est l'*alignement des origines des vallons secs le long de la crête Nord de la Sambre-Meuse.* C'est un fait trop important pour ne pas être signalé.

On peut imaginer une classification des rivières tronçonnées par la Sambre-Meuse :

1° Les rivières qui ont conservé une correspondance indiscutable du Sud au Nord. Tels sont l'Eau d'Heure-Piéton; le Hoyoux-Méhaigne; l'Ourthe-Meuse;

2° Celles qui ne possèdent plus de connexion directe, mais dont on retrouve encore des traces très probables vers le Sud. Une rivière de ce genre est la Yerne, dont un prolongement se trouverait dans les Fonds d'Oxhe;

3° Celles qui ne possèdent plus de prolongements probables. C'est le type des vallées sèches de la Hesbaye liégeoise.

Rôle morphologique du Geer.

Toutes ces vallées aboutissent au sillon du Geer, dont il convient de définir le rôle morphologique.

Son bassin est violemment dissymétrique. Au Sud, il s'étend, avons-nous vu, sur dix à douze kilomètres. Au Nord, il est étrangement étroit.

De ce côté, il ne reçoit aucun affluent important, sauf en aval de Wonck, où aboutit une vallée sèche venant de Riempst, mais dont le cours Nord-Sud ne dépasse pas 4 kilomètres.

La limite Nord du bassin du Geer coïncide avec la ligne de

partage des eaux entre l'Escaut et la Meuse. Elle suit la rivière de si près, qu'en certains points, tels qu'à Oleye, elle passe à moins de 500 mètres du lit de la rivière.

Cette disposition n'est pas uniquement due à la puissante érosion régressive des tributaires du Démer, affluent de l'Escaut, puissance qui n'est d'ailleurs pas contestable (1).

On a pu l'attribuer, comme je l'ai fait en 1921, à une disposition subséquente (2); mais cette attribution ne peut plus se défendre aujourd'hui.

Le Geer présente un parallélisme trop marqué avec les axes tectoniques varisques pour qu'on n'attribue pas son origine à une déformation du sol.

Il en est bien ainsi. Le bassin du Geer, quand on tient compte de la présence de toutes les vallèes sèches, rappelle, à une échelle moindre, la disposition du bassin Sambre-Meuse. Comme la Sambre-Meuse, *il joue le rôle d'une rigole tectonique placée à mi-hauteur d'un glacis*. C'est une vallée tectonique comme la grande majorité des vallées belges.

La vérification en est des plus aisée. On sait que nos assises tertiaires possèdent un pendage général dirigé vers le Nord. Ce fait est reconnu par tous les géologues belges et n'exige pas de vérification.

Il suffit donc d'observer, au Nord du Geer, un pendage dirigé vers le Sud. C'est ce que l'on peut constater au sommet des marnes de Gelinden, assise rangée autrefois dans le Heersien, mais placée aujourd'hui dans le Landénien (Éocène inférieur). Nous avons choisi cet horizon, parce que son contact avec les sables argileux glauconifères qui les surmontent est souvent nettement indiqué.

Un pendage local, dirigé vers le Sud, même d'une façon assez accentuée, peut s'observer aux environs de Bettincourt et d'Oleye.

L'origine tectonique du Geer n'a rien qui doive nous surprendre.

Au Sud du massif cambro-silurien du Brabant, la Sambre-Meuse possède une origine tectonique. Il en est de même, comme je l'ai montré, du Démer, qui l'enveloppe au Nord. Il

---

(1) B. VAN DE POEL, Indices d'un phénomène de capture à Tongres. (*Ann. de la Soc. scientif. de Bruxelles*, t. LII, série B, pp. 47-51 [1933]).

(2) CH. STEVENS, Remarques sur la Morphologie du Bassin supérieur de la Dyle. (*Bull. Soc. belge de Géol.*, Bruxelles, t. XXXI [1921], pp. 44-51.)

était donc très probable que le Geer, situé entre les deux, ait possédé une origine semblable.

En réalité, le Geer se compose de deux parties :

a) de Maestricht jusqu'aux environs de Bassange, c'est une vallée du type convergent. C'est la seule section du Geer qui ait reçu un tributaire venant du Nord : le vallon sec de Riempst.

b) en amont de Bassange, c'est une vallée synclinale, déformée dans la région de Tongres par un des axes tectoniques de la surélévation du Limbourg.

Il n'est pas impossible que des phénomènes tectoniques, de faible amplitude, se soient manifestés récemment aux environs de Riempst.

Il est visible qu'à son entrée à Maestricht, le Geer recevait à gauche un tributaire, presque rectiligne, long de 12 kilomètres. Il passait par Millen, Riempst, Vroenhoven.

La trace de sa capture, au hameau de Heukelom, par le vallon de Sichen-Sussen-et-Bolré, est encore très nette. Elle se trouve pourtant dans un site sec, enfouie sous la fine poussière qui, en Belgique, a donné naissance au *lœss*, c'est-à-dire à l'ergeron et à son facies d'altération, la terre à briques.

Note sur la présence de coticule dans le poudingue de Bihain,

par F. CORIN.

A diverses reprises, décrivant des poudingues gedinniens métamorphiques observés sur la bordure méridionale du massif de Stavelot, j'ai signalé la présence d'ottrélite ou de magnétite, tant dans leur ciment que dans la croûte, mais non pas dans la masse, de certains de leurs éléments, galets et roches cambriennes. Cette localisation m'a paru justifier l'opinion que le métamorphisme du massif de Stavelot est exclusivement postgedinnien.

Je puis ajouter aujourd'hui que, à Salm-Château, l'ottrélite se rencontre également dans les minces lentilles schisteuses dont la masse de ces poudingues est sillonnée irrégulièrement.

Je puis surtout apporter la confirmation d'un fait signalé sommairement par Gosselet : la présence de coticule dans les mêmes poudingues [1].

---

[1] J. GOSSELET, Sur la présence de coticule dans le poudingue de Salm-Château, etc. (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XV, 1887-1888, p. 104.)

Je viens, en effet, de découvrir dans un bloc roulant recueilli à quelques centaines de mètres à l'Est de Bihain, un fragment de schiste grenatifère qui, au microscope, s'est montré analogue au schiste à coticule faiblement pigmenté, sinon au coticule lui-même. Il en diffère pourtant par un point : les grenats bien compacts du coticule et des schistes que j'ai pu recueillir à proximité sont ici remplacés par des agglomérats grenus.

Dans la mention rappelée à l'instant, Gosselet avait signalé la présence d'un galet de coticule à Salm-Château. Il n'en avait donné aucune description pétrographique.

Pour ce qui est de l'échantillon recueilli à Bihain, il ne m'a pas été possible de dire s'il s'agit d'un galet laminé ou d'une intercalation schisteuse. En tout état de cause, il s'agit d'une mince lentille ondulant entre les galets de roche dure.

Je me contente donc pour l'instant de signaler le fait, sans en tirer de conclusion.

Coupe d'une fouille exécutée dans l'axe du canal Albert, près de Grobbendonck,

par F. HALET [1].

Une fouille longue d'environ 150 m., large de 40 m. et profonde de 8 m., exécutée contre la Petite Nèthe, dans l'axe du canal Albert, à environ 1,300 m. au Sud-Ouest du clocher du

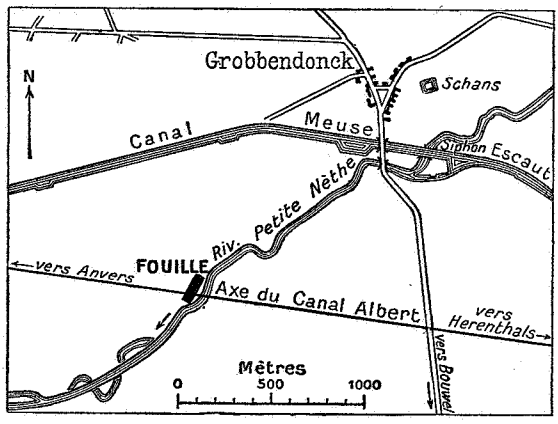

FIG. 1. — **Esquisse cartographique de la fouille de Grobbendonck.**

---

[1] Note présentée à la séance du 23 janvier 1934.

village de Grobbendonck (voir fig. 1), présentait, en janvier 1934, une très intéressante coupe de terrain.

Bien que le travail fût exécuté à l'aide d'excavateurs mécaniques, nous avons pu nous rendre compte en divers points de l'allure et de la superposition des formations mises à nu dans la fouille.

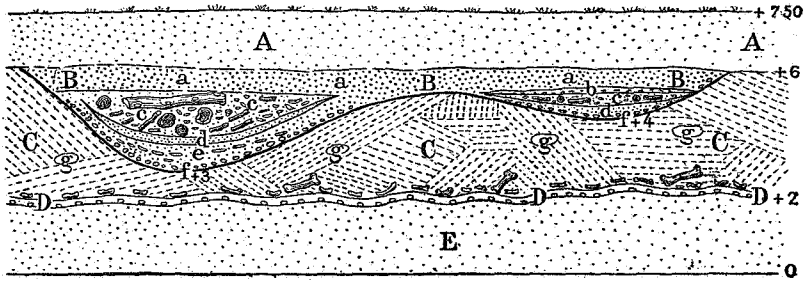

FIG. 2. — **Coupe schématique de la paroi Sud-Est de la fouille du siphon de la Nèthe à 35 m. Sud-Est de l'axe du canal.**

Longueur de la coupe environ 35 m.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

			Epaisseurs.
Holocène ou moderne.	**A.**	— Sable ferrugineux, brunâtre, parfois verdâtre et légèrement limoneux, contenant des concrétions ferrugineuses	1m25 à 1m75
	B.	*a*) Sable quartzeux, gris, assez grossier par places, à stratification entrecroisée.	
		b) Tuf ferrugineux (*alios*), avec petits grains de quartz roulés, tacheté de bleu par la vivianite	0m10
		c) Sable plus fin, humique, avec amas de débris de branchages et de troncs d'arbres, en positions très variées, quelques petits amas de feuilles fortement déchiquetées, empilées les unes sur les autres. Une coquille fluviatile (cf. *Unio* sp.)	0m50 à 1m50
		d) Tuf ferrugineux (*alios*), avec petits graviers de quartz et traces de vivianite	0m10
		e) Sable quartzeux avec débris de matières humiques	0m50
		f) Niveau graveleux, composé de petits galets de quartz blanc roulés, petits silex roulés, concrétions ferrugineuses et sable grossier . .	0m05

Pleistocène supérieur.

C. — Sable très quartzeux, gris, avec grains de glauconie, à stratification nettement entrecroisée, contenant sporadiquement vers le sommet des boules de sable argileux, humique (*g*) . . . . . 1m00 à 4m00

D. — Niveau ravinant, composé de rognons de grès gris glauconifère, souvent en forme de plaquettes, amas de galets de quartz blancs et de silex dont quelques-uns atteignent la grosseur d'un œuf.

Au niveau de ce gravier ont été trouvés des ossements de mammifères, des dents de poissons, etc. . . . . , 0m10 à 0m20

Diestien. — **E.** — Sable quartzeux, gris verdâtre, glauconieux, avec nombreuses traces de tubulations blanchâtres, visibles sur environ 2m00

Age géologique des couches observées dans la fouille.

I. — Dans l'ensemble, il faut distinguer :

D'une part, les termes notés A, B, C et D; ils représentent les alluvions modernes et anciennes de la vallée de la Nèthe;

D'autre part, la couche E, faite de sables quartzeux et glauconieux, sans fossiles apparents; d'après l'étude que nous avons faite de divers sondages exécutés le long du tracé du canal Albert, elle est à ranger dans le Pliocène (Diestien).

II. — Dans le détail des formations alluvionnaires, nous mettons à part les termes A et B, qui sont Holocènes, et les termes C et D, qui sont Pléistocènes.

Suivant l'ordre de leur formation, nous examinerons ces termes du bas vers le haut.

Les *formations pléistocènes* débutent par un cailloutis ravinant (D), surmonté de sables très quartzeux à stratification entrecroisée. Le gravier de base appartient, à notre avis, à la basse terrasse de la vallée de la Petite Nèthe, dont la base se trouverait ainsi, à Grobbendonck, vers la cote + 2. Les sables quartzeux C, sus-jacents, représentent les matériaux de remblayage de cette terrasse.

Dans le gravier D nous avons trouvé, à l'état remanié, une dent d'*Oxyrhina hastalis*, provenant vraisemblablement du Diestien; nous avons également recueilli quelques débris d'ossements. D'autres débris, ramassés par la pelle à vapeur lors de l'exécution de la fouille, avaient déjà été envoyés au Musée d'Histoire naturelle. D'après les indications que nous a données

M. Glibert, naturaliste au Musée d'Histoire naturelle, il s'agirait de débris d'ossements de *Rhinoceros tichorhinus*, d'*Elephas primigenius* et de bison. Il résulte de notre examen sur place que le gisement ossifère est nettement cantonné au niveau du cailloutis D.

Les dépôts C et D sont incontestablement d'origine fluviatile; nous les rangeons dans le Pléiostocène supérieur.

Quant aux *dépôts holocènes*, ceux qui constituent le terme B, ils sont nettement localisés dans les parois de la fouille; ils ne sont représentés que sur une longueur d'environ 25 à 30 m. dans les deux talus Sud-Est et Nord-Ouest de la fouille, à environ 35 m. au Sud de l'axe du canal. Ces dépôts ont comblé une petite cuvette résultant d'un ravinement local dont témoigne la base graveleuse (f) du terme B.

Au-dessus de ce gravier (f) se voit une alternance de dépôts lenticulaires de sables plus ou moins grossiers à stratification entrecroisée, avec amas de débris végétaux : troncs d'arbres, gros branchages, glands de chêne, feuilles agglomérées en paquets et rares coquilles fluviatiles.

D'après les déterminations de M. Mosseray, assistant au Jardin Botanique de Bruxelles, la plupart de ces débris végétaux sont des restes de *Quercus pedonculata*, de *Corylus avellana* et d'*Alnus* sp.

Ces débris végétaux, qui proviennent certainement des environs immédiats, témoignent d'un climat tempéré et humide. Rien d'étonnant donc que, contrairement à ce que certaines personnes avaient cru tout d'abord, les ossements de rhinocéros à narines cloisonnées et de mammouth soient cantonnés dans un dépôt tout différent et beaucoup plus ancien.

Sur la présence de schistes tachetés (Knotenschiefer) sur le versant Nord de la vallée de la Vesdre, au pont de Bellesfurt (Raeren),

par F. CORIN [1].

Résumé. — *La découverte de schistes tachetés, que l'étude pétrographique démontre être métamorphiques, porte à supposer l'existence d'un pointement éruptif, encore inconnu, dans*

[1] Note présentée à la séance du 17 octobre 1933.

l'anticlinal de Munsterbilchen, aux environs de Venn Kreuz (Raeren).

Des schistes tachetés ont été découverts dans le talus de la route de Venn-Kreuz, au pont de Bellesfurt (commune de Raeren), peu en contre-bas du coude où la route, quittant le plateau, descend nettement vers la vallée. C'est en cet endroit que se trace, sensiblement, la limite d'un lambeau gedinnien plaqué dans le versant nord de la vallée de la Vesdre [1].

Ayant visité le gîte en question, j'y ai recueilli un certain nombre d'échantillons de roches tachetées. Ils proviennent, en majorité, des dépôts de pente découverts dans le talus de la route, mais, aussi, pour une part, des pointements rocheux qui percent les dépôts de pente. Au total, ce sont des schistes gréseux ou de grès-quartzites, à grain fin, verts ou lie de vin. Le ciment, plus ou moins abondant, est phylliteux et ne fait jamais défaut. D'après cet habitus, ce sont plutôt là des roches d'âge gedinnien.

Elles renferment :

1° des grains de quartz plus ou moins anguleux, finement pénétrés, sur leur pourtour, par des phyllites néogènes. Ce trait souligne un début de recristallisation du quartz, situation qui ne pourrait se réduire de la seule considération des formes anguleuses des grains, puisque les éléments des roches sédimentaires sont rarement bien roulés quand ils sont très tenus;

2° d'abondantes paillettes de mica, étalées et de grande taille, elles paraissent clastiques;

3° de minuscules phyllites néogènes indéterminables qui forment la trame de la roche;

4° de la tourmaline néogène, brun verdâtre, en prismes trapus. Une schistosité grossière s'accuse, dans les coupes minces, d'une part, par l'orientation générale des phyllites et, d'autre part, par des surfaces de discontinuité sinueuses, déviées à la rencontre des grains de quartz.

Roches vertes et roches lie de vin sont criblées de petites taches jaunâtres. Sur les échantillons légèrement altérés, ces taches sont bordées d'un mince liséré ocreux; sur les échantillons très altérés, elles apparaissent en creux. Plus abondantes, plus larges, et de section plus nettement elliptique dans les lits

---

(1) A. Renier, Compte rendu de la Session extraordinaire de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie, tenue à Eupen les 7, 8, 9 et 10 septembre 1925. (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XXXV, pp. 174-249, Bruxelles, 1928 (spécialement p. 227).

phylliteux que dans les lits plus quartzeux — où elles sont informes et déchiquetées — elles semblent cependant réparties irrégulièrement dans chacun de ces lits.

L'allongement des taches elliptiques est, dans les lits phylliteux, orienté suivant le clivage et souligne une tectonique para- ou postcristalline.

Aucun caractère ne permet de déterminer la nature des taches. Leur altérabilité plus grande que celle de la masse fait soupçonner la présence d'un minéral distinct. Sous le microscope, elles s'accusent assez nettement par une quasi-isotropie de leur trame, qui contraste avec la biréfringence élevée de la pâte normale de la roche.

Ces roches tachetées présentent certains traits caractéristiques des parties externes des auréoles de métamorphisme de contact thermique. D'où la conclusion qu'il existe probablement, dans le voisinage de ce gîte, un massif intrusif proche de la surface actuelle d'érosion. Une exploration approfondie des environs serait donc intéressante. Mais on se trouve sur un plateau boisé et tourbeux. Aussi nos recherches sont-elles jusqu'ici restées infructueuses.

En terminant, remarquons que ce nouveau pointement de roche intrusive, situé dans la zone de l'anticlinal de Munsterbilchen [1], se placerait nettement au Nord de l'alignement sur lequel se trouvent les roches tonalitiques du Herzogenhügel (Helle) et de Lammersdorf.

Calcaires laminés au voisinage de failles de charriage à Bouffioulx et à Falisolle,

par F. CORIN [2].

Je crois utile de signaler deux cas particulièrement intéressants de calcaires laminés : l'un est à Bouffioulx, l'autre à Falisolle.

1° *Bouffioulx.* — Dans la vallée du Rieu d'Acoz, à 1280 m. au Sud du clocher de Bouffioulx, c'est-à-dire aux abords du ravin dit « Fossé des Longues Royes », s'observent de nombreux contacts anormaux qui soulignent le passage d'importants char-

(1) *Loc. cit.*, p. 217.

(2) Note présentée à la séance du 19 décembre 1933.

riages : faille de Chamborgneau, faille d'Acoz et faille du Midi y amènent en superposition du massif de Bouffioulx — ici constitué, en affleurement, par des calcaires dinantiens — le massif de Loverval, — où s'observent, notamment en ce point, des calcaires frasniens, — puis le massif d'Acoz, le massif du Midi, etc. (1).

Sur la rive gauche du ruisseau d'Acoz, face au débouché du Fossé des Longues Royes, en un endroit où la faille de Chamborgneau, superposant le massif de Loverval à celui de Bouffioulx, est d'allure plus ou moins parallèle à celle du cours d'eau, j'ai recueilli, à flanc de coteau, vers l'extrémité méridionale d'une petite carrière abandonnée, des échantillons d'un calcaire dont l'âge, en l'absence de fossiles, reste indéterminé, mais qui, au point de vue lithologique, porte les traces évidentes des phénomènes tectoniques qui ont accompagné le jeu des charriages.

Fortement laminé, ce calcaire présente une structure fluidale. Sous le microscope, il offre tous les indices d'un broyage extrême. On y observe quelques minces lits noirâtres sinueux, qui correspondent à ces joints d'allure microstylolithique, si fréquents dans les calcaires, mais qui, par suite du laminage, ont ici été repliés sur eux-mêmes de la façon la plus capricieuse. La structure fluidale est en partie accusée par des traînées de calcite broyée, moins pigmentée que la pâte de la roche, et qui correspondent, soit à des veines de calcite antérieures au laminage, peut-être aussi à d'autres concentrations de calcite recristallisée au cours d'un stade prétectonique.

De nouvelles veines de calcite, de formation tardive, non déformées cette fois, sillonnent la roche.

2° *Falisolle.* — Environ 1500 m. au Sud de la station du chemin de fer de Falisolle, sur le versant Est de la vallée, s'ouvrent les exploitations de la Société anonyme des Fours à chaux du Falgi. L'excavation Nord est sensiblement à la bordure d'une bande de calcaire carbonifère charriée sur le terrain houiller (2).

---

(1) H. DE DORLODOT, Recherches sur le prolongement occidental du Silurien de Sambre-et-Meuse et sur la terminaison orientale de la grande faille du Midi. (*Ann. Soc. géol. Belg.*, Liége, 1894-1895, t. XX.)

A. RENIER, Contribution à l'étude de la bordure méridionale du bassin houiller de Charleroi et de la Basse-Sambre. Description de la coupe du puits n° 3, la coupe du nouveau puits profond du charbonnage du Boubier, à Bouffioulx. (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XLI, pp. 268-339. Bruxelles, 1932.)

(2) H. DE DORLODOT, *loc. cit.* (faille du Fond du Guay).

On peut y voir, en allure redressée, un banc de brèche à cailloux de calcaire noir noyés dans une pâte blanc-crème, dolomitique. Quelques cailloux dolomitiques blanchâtres s'y rencontrent. Aucune structure orientée n'y apparaît.

Une zone de broyage à pente faible vers le Sud traverse obliquement la brèche.

Celle-ci y a subi un tel étirement que les cailloux noirs ne s'y présentent plus, en coupe transversale, que comme de minces zones ou bandes noires dans la masse blanche.

A l'échelle macroscopique comme à l'échelle microscopique, on peut se rendre compte que les cailloux de calcaire noir se sont comportés comme des masses hautement plastiques, fluant de façon presque parfaite, tandis que la pâte dolomitique s'est broyée en formant un agglomérat grossier et désordonné. De çi de là, des cailloux dolomitiques, emballés dans le flux général, ont simplement roulé, en s'émiettant à partir de leur périphérie.

MATÉRIAUX POUR L'ÉTUDE DE LA FORMATION DES GISEMENTS HOUILLERS,

par X. STAINIER,
Professeur à l'Université de Gand [1].

En géologie, il y a peu de sujets qui aient attiré autant l'attention et provoqué autant de publications que celui du mode de formation des couches de charbon et des bassins houillers. On ne saurait s'en étonner, si l'on tient compte du fait que le charbon est la matière la plus précieuse que récèle l'écorce terrestre et que, partant, le côté théorique du problème se double d'un côté pratique qui nous font désirer plus ardemment d'avoir une réponse à la question de savoir comment se sont produits ces gisements sans lesquels nous ne pouvons plus concevoir une civilisation possible, actuellement.

Ce qui est plus surprenant, c'est que la littérature touffue, bien connue d'ailleurs, que le problème a suscitée, n'ait pas réussi à faire jaillir une théorie capable de satisfaire sinon tous, du moins la plus grande partie des géologues.

On est cependant arrivé à ce résultat que parmi les hypothèses qui ont été émises, deux seulement sont restées en présence. Communes sur bien des détails, elles diffèrent sur le fait capital que dans l'hypothèse de l'autochtonie la houille se serait formée sur place, c'est-à-dire à l'endroit même où vécurent les plantes dont le charbon est formé, tandis que, dans l'hypothèse de l'allochtonie, ces végétaux, avant leur transformation, auraient subi un transport plus ou moins considérable.

L'histoire des diverses phases par lesquelles ont passé nos idées sur le sujet est suffisamment connue pour qu'il soit opportun d'y revenir. Mais il me faut expliquer pourquoi, à mon tour, j'ai pris la plume pour traiter une question sur laquelle, semble-t-il, il n'y a plus rien de neuf à dire.

Le terrain houiller offre aux observations une multiplicité de points dont aucun autre terrain de l'écorce terrestre ne peut se

---

[1] Manuscrit déposé à la séance du 17 avril 1934, publié avec l'appui de la *Fondation Universitaire*.

vanter, et de loin. Mais, par contre, si ces points sont innombrables, ils sont en même temps d'un accès des plus difficiles. La nature friable et altérable des roches houillères, surtout au voisinage des couches de charbon, fait que ce terrain est très peu propre à fournir de beaux affleurements naturels. Les belles et grandes coupes de Houiller, visibles à ciel ouvert, sont rarissimes et n'existent guère que dans quelques falaises, telle celle des South-Joggins, au Canada, que la mer a l'amabilité de tenir toujours neuve et fraîche. En dehors de cela, il n'existe du Houiller accessible aux observations que dans les exploitations minières où, par compensation, il se déploie avec une ampleur incomparable.

Mais on conçoit aisément que l'accès des mines ne puisse s'obtenir que difficilement. Outre que la présence d'observateurs serait une entrave pour les travaux miniers, ces personnes sont exposées à de multiples accidents dans les charbonnages modernes, sièges d'une exploitation intensive. Et ce n'est pas encore tout. Lorsqu'on a obtenu de pouvoir descendre dans un charbonnage, il faut un long entraînement pour arriver, avec un éclairage insuffisant, à discerner quelque chose sur les parois luisantes d'humidité ou souillées par la boue ou la poussière.

Rien d'étonnant que, dans ces conditions, nombre de géologues ou de paléo-botanistes aient écrit sur le terrain houiller et sur la formation des couches de houille sans avoir jamais vu autre chose que des échantillons de collections.

Or, j'ai déjà eu l'occasion de le dire plusieurs fois, dans ce cas, comme toujours, la seule méthode qui puisse nous conduire à émettre des hypothèses sérieuses, c'est de commencer d'abord par bien observer et collectionner les faits les plus nombreux possible. En procédant autrement, on s'expose à ne faire que du roman scientifique et à faire, non pas des hypothèses d'après les faits, mais des faits d'après les hypothèses.

Enfin, pour en finir avec ce côté de notre exposé, nous ajouterons que nous ne sommes plus aux âges héroïques de la Géologie, où il suffisait, pour bâtir une théorie, de quelques premiers faits observés. Le problème qui nous occupe est des plus complexes. Il doit être étudié à fond, dans le détail le plus minutieux, sur toutes ses faces, avec toutes les ressources de la technique moderne et avec la collaboration des compétences les plus diverses, ayant voix au chapitre.

Par suite de circonstances favorables, j'ai été à même de faire une récolte exceptionnelle de faits, que je me suis attaché à

étudier avec le plus de détail possible. J'ai d'abord eu l'occasion de m'entraîner au levé de coupes du Houiller, en procédant, pendant une dizaine d'années, au levé de la Carte géologique de la Belgique, le long de la Sambre et de la Meuse, de Charleroi à Flémalle, c'est-à-dire là où se trouvent les plus belles coupes du Houiller belge. J'ai, de plus, étudié dans d'autres régions belges, la plupart des points intéressants du Houiller. Dès que j'ai eu l'expérience nécessaire, je me suis mis à explorer les travaux souterrains. Depuis 1893, en qualité de géologue-conseil près des deux tiers des charbonnages belges, j'ai pu faire d'innombrables descentes. Comme mes études étaient faites dans l'intérêt des exploitants, ceux-ci se sont ingéniés à me faciliter mes études et à me fournir, à l'envi, échantillons, plans, coupes, analyses, etc. Outre les observations personnelles faites à l'occasion de problèmes variés que j'avais à résoudre, j'ai pu, grâce au désintéressement des ingénieurs avec lesquels j'ai été en relation, profiter de leur expérience et de leurs découvertes.

Enfin, quand le mode d'exploration par sondage à la couronne diamantée a été introduit dans notre pays, j'ai eu à étudier des kilomètres de témoins extraits de ces sondages. Or ceux-ci constituent une mine précieuse de faits. En les débitant à fond, en pleine lumière, tout à l'aise, aucun détail, si minime soit-il, ne peut échapper. Les roches et les niveaux fossilifères laissent apercevoir aisément leurs caractères, leurs modifications, leurs relations et leurs transitions.

J'ai pu ainsi amasser une somme de renseignements considérable qui m'a déjà servi pour des publications sur l'un ou l'autre point intéressant les bassins houillers belges. J'ai pensé qu'il était utile de ne pas laisser cette documentation dormir sans avoir servi à élucider le grand problème de la formation des couches de charbon. J'ai jugé cette publication d'autant plus opportune, que la théorie à laquelle je me suis arrêté, comme conclusion de mes études, la théorie de la formation allochtone, est maintenant abandonnée par presque tout le monde.

Ce n'est pas là un motif d'abstention, et le bénéfice des observations sera quand même sauvé de l'oubli, quel que soit le sort des théories.

Inutile d'ajouter qu'avant de me former une opinion, j'ai lu ce que l'on a écrit sur le sujet, et j'ai complété les études faites en Belgique par l'étude de nombreux bassins de l'Europe et de l'Amérique, au cours d'excursions industrielles ou purement scientifiques.

PREMIÈRE PARTIE

EXPOSÉ D'UNE HYPOTHÈSE DE FORMATION ALLOCHTONE DES GISEMENTS HOUILLERS

Lorsqu'on veut développer une hypothèse, il y a deux façons de procéder, qui ont leurs avantages et leurs inconvénients. On peut exposer d'abord les faits et finir en déduisant la théorie, de ces faits. Ou bien on peut donner d'abord l'énoncé du problème, en montrant ensuite comment les faits viennent à l'appui de l'hypothèse. C'est à cette dernière méthode que je me suis arrêté, car elle évite d'innombrables redites et l'on saisit beaucoup mieux la portée d'un argument lorsqu'on sait ce qu'il doit prouver.

Pour éviter toute équivoque, disons aussi que cette hypothèse ne s'applique qu'aux grands bassins houillers, d'âge carbonifférien, tels que ceux du Nord-Ouest de l'Europe, du Donetz, des Appalaches et du Centre des États-Unis.

Je suis loin de croire que tous les gisements de combustible sont tous de formation allochtone; je sais pertinemment qu'il n'y en a pas mal d'origine autochtone. Même dans le genre de bassin que j'étudie, il pourrait y avoir des cas d'autochtonie; mais je pense qu'ils sont très localisés et rares. Sous ces réserves, voici comment je conçois la formation des gisements houillers dans leur ensemble, roches stériles et combustibles [1] :

Milieu géographique. — L'orographie de l'époque houillère est d'origine calédonienne, mais une longue érosion avait déjà pu estomper fortement le relief; cependant, il existait encore de puissants reliefs à noyau souvent archéen ou granitique, bordant des cuvettes marines peu profondes généralement, continuation des mers dinantiennes, cuvettes dans lesquelles allaient se former les dépôts sédimentaires houillers. L'afflux copieux d'eaux pluviales a progressivement dessalé ces cuvettes, mais, plus tard, par suite de périodes sèches et d'invasion des mers voisines, les cuvettes sont redevenues momentanément marines, pour se dessaler de nouveau, et ainsi de suite.

---

(1) J'ai déjà, antérieurement, exposé un résumé de cette théorie (**147**). Watts a montré que les conditions dans lesquelles les grands bassins se sont formés n'ont plus été réalisées depuis (**170**, p. LXXXV).

N. B. — Les chiffres en caractères gras, entre parenthèses, renvoient à la bibliographie placée à la fin du travail.

CLIMAT. — Les nombreuses éruptions volcaniques des périodes antéhouillères avaient dû lancer dans l'atmosphère d'énormes volumes d'anhydride carbonique, auxquels était venue s'ajouter une quantité encore bien plus grande du même gaz, mis en liberté par la précipitation des puissants bancs de calcaire formés pendant le Silurien, le Dévonien et le Dinantien. Ce calcaire était en effet dissous dans l'eau à l'état de bicarbonate calcique, dont la précipitation à l'état de carbonate a pour conséquence de libérer de l'anhydride carbonique. Une atmosphère beaucoup plus riche en anhydrique carbonique devait être, dans les couches inférieures, extrêmement diathermane. Ce fait, combiné avec la température élevée que supposent toutes les théories cosmogoniques, devait donner un climat très chaud, beaucoup plus capable de maintenir en suspension de la vapeur d'eau que la nôtre et, partant, avec en plus sa richesse en gaz carbonique, donc bien plus dense que l'atmosphère actuelle. Une atmosphère dense est difficile à mettre en mouvement et doit donc être soumise à de longues périodes de calme. Mais aussi, quand les causes qui provoquent les cyclones, longtemps contenues, ont acquis, en s'accumulant, l'énergie suffisante, leurs effets doivent être d'autant plus terribles et plus généraux.

Pareille atmosphère devait être éminemment favorable au développement, sur toute la surface des continents, d'une luxuriante végétation. Celle-ci était caractérisée par la forte prédominance d'espèces arborescentes de forêts chaudes et humides avec des fougères aimant pareil habitat. Mais avec cela on trouve des types plus localisés, des plantes de marais, des cycadées au feuillage raide et sec indiquant déjà un milieu moins humide. On voit même des ptéridophytes franchement xérophytes, indiquant donc un climat sec de montagne.

La plupart de ces végétaux, vu les conditions favorables, avaient dû pousser avec une rapidité extraordinaire. Aussi des arbres géants n'ont en somme qu'une mince couche corticale ligneuse, tout l'étui médullaire, formant le reste, était d'un tissu lâche et léger. Aussi cette végétation devait être extrêmement fragile. Par contre, pour la plupart des végétaux, tout indique une foliation charnue et succulente et les végétaux devaient être riches en matières grasses, sucrées, amylacées, résineuses, gommeuses, etc.

SOLS. — Une atmosphère pareille devait donner des pluies chaudes et riches en acide carbonique. Ces pluies, en passant au travers des couches épaisses de litière accumulée sur le sol des

forêts et des marais, se chargeaient d'acides organiques, de soufre, etc., et devaient donc agir puissamment dans le sol comme agents de désagrégation. Les sols granitiques surtout devaient se kaoliniser profondément et des couches épaisses de roches meubles devaient donc tapisser, durant les longues périodes de calme, les surfaces continentales de tout genre.

Érosion. — Nos pâles tempêtes des contrées tempérées, voire les cyclones des tropiques, les typhons des mers orientales, ne peuvent vraisemblablement nous donner une idée de ce que devaient être les cyclones houillers. Et cependant les cyclones tropicaux sont déjà capables de raser de vastes étendues. A l'époque houillère, la tempête devait être plus générale et ravager tous les continents. Sous son étreinte puissante, avec le concours de violentes trombes d'eau, tout était emporté : le sol meuble avec les frêles végétaux qu'il nourrissait. Ceux-ci, sans consistance, étaient désagrégés; racines, radicelles, souches, troncs, branches, feuilles, graines, spores, tout partait séparé de ses connexions anatomiques, pour la plupart. La litière accumulée faisait de même et les souches des arbres qui avaient grandi dans le lit caillouteux des torrents s'en allaient à la dérive dans les cours d'eau gonflés par les pluies, charriant, dans leurs racines, les cailloux de leur lieu natal.

Sédimentation. — Tant que dure la période violente, les cours d'eau ne cessent d'apporter tumultueusement, dans les grandes cuvettes voisines, un mélange hétérogène de matières minérales meubles et de matières végétales à tous les stades de la désintégration. Puis le calme, un calme complet, se rétablit, et la cuvette devient le théâtre d'une sédimentation fractionnée, grâce à laquelle tout ce mélange va se classer méthodiquement suivant sa densité et son volume, ou pour d'autres raisons encore.

Lorsque le calme a pu devenir complet et d'une durée suffisante, tout l'apport de matériaux terrigènes, en se déposant dans les cuvettes, produit ce que l'on pourrait qualifier un cycle sédimentaire complet, caractérisé par des phases successives de dépôt, dans l'ordre suivant :

1° Se déposent d'abord les matières les plus grossières, les sables, plus ou moins grenus, passant parfois au conglomérat ou à la brèche par remaniement de formations préexistantes. Les matériaux d'origine végétale qui se déposeront en même temps ne seront jamais que des fragments, probablement fortement décomposés et rendus spongieux par exposition à l'air

libre, avant leur entraînement. Dans l'eau ils s'imbiberont rapidement et couleront donc rapidement à fond;

2° Il se déposera ensuite de la roche plus fine, plus argileuse, accompagnée d'un feutrage plus ou moins parfait de débris végétaux empruntés, pour le plus grand nombre, à la partie la plus dense d'un végétal, c'est-à-dire à sa partie souterraine. Mais en vertu du classement qui s'opère, seules se précipiteront alors les racines des grands arbres, les *Stigmaria*, avec leurs appendices radicellaires le plus souvent isolés. Ces radicelles fragmentées, vu leur forme allongée et tordue, n'ont pas de plan de flottaison net et, se déposant dans des eaux encore agitées, prennent toutes les positions possibles. Leur entrelacement dans un amas sédimentaire, en eau assez agitée, empêche celui-ci de prendre une texture bien stratifiée ou feuilletée, et ainsi se constitue le mur d'une couche, caractérisé à la fois par sa texture et la présence de radicelles plus ou moins transversales à la stratification;

3° Vient ensuite la formation de la couche de charbon, au moyen des débris végétaux qui, jusqu'alors, avaient pu continuer à flotter, mais qui, à leur tour, se précipitent en se classant d'après leur densité. Il y a, en effet, même à l'état vivant, de notables différences sous ce rapport entre les écorces, l'étui médullaire, les feuilles, les graines et spores des végétaux de l'époque houillère et ceux des végétaux actuels. De plus, la décomposition plus ou moins avancée, l'état plus ou moins spongieux des débris végétaux, en provoquant de grandes différences dans la faculté d'imprégnation d'eau, a dû modifier le pouvoir de flottaison. De là provient la différence bien connue que l'on peut observer entre les diverses parties (sillons, laies, etc.) d'une même couche, surtout quand elle est très épaisse. Les matières terreuses qui étaient encore en suspension dans l'eau et qui ont pu se déposer alors ont contribué, tantôt à rendre certains lits plus cendreux, tantôt à produire les intercalations plus ou moins charbonneuses (havages, barres, etc.) dont peu de couches épaisses sont exemptes;

4° Enfin, les matériaux les plus légers et les plus fins, parmi les substances terreuses, les argiles fines, se précipitent les derniers, en donnant naissance au toit de la couche, argileux et feuilleté. C'est dans ce toit que l'on trouve souvent, étalés à plat, de beaux restes de végétaux qui ont choisi ce moment pour se déposer, soit parce que leur forme étalée leur a donné une grande surface de flottaison, soit parce qu'ils sont arrivés tardivement dans la cuvette houillère.

Telle est, dans ses grandes lignes, la succession d'un cycle sédimentaire aboutissant à la formation d'un gisement de combustible.

Le remplissage de la cuvette houillère, entre les diverses périodes de formations charbonneuses, s'achève par la formation des stampes ou intercalations stériles, dont les caractères sont si semblables à ceux d'autres formations marines ou lacustres, qu'il n'est pas nécessaire de faire appel à des hypothèses nouvelles pour les expliquer.

La stérilité de ces stampes peut être due à divers facteurs agissant séparément ou simultanément. Les érosions peuvent avoir recommencé avant qu'une végétation assez copieuse ait pu se reconstituer sur les surfaces continentales dénudées. Les cyclones n'ont pas été assez violents pour attaquer les grandes forêts et ont fait place à des pluies ordinaires qui, comme les pluies actuelles, se bornent à apporter aux cours d'eau, et par eux à la mer, des sédiments argilo-sableux. Enfin, des matières végétales ont parfois été entraînées en quantité suffisante pour pouvoir produire un dépôt de charbon, mais le calme a été insuffisant pour lui permettre de se former. Les débris végétaux ont été dispersés, hachés, triturés, ou ils se sont décomposés complètement en reformant de l'acide carbonique. Ce sont les mêmes facteurs qui, en agissant avec des modalités différentes, ont pu faire varier la puissance des couches de charbon, puissance, on le sait, qui varie considérablement dans le temps et l'espace.

Les facteurs qui règlent la sédimentation dans les grandes cuvettes marines ou douces sont multiples, car il en est de mécaniques, chimiques et biologiques. Leurs variations doivent amener des modifications dans le type classique que je viens de décrire et qui, tout en étant le plus fréquent, est loin d'être le seul.

Les facteurs biologiques et chimiques peuvent augmenter les termes du cycle sédimentaire en y introduisant des couches de calcaire, de dolomie, de composés de fer : sulfures, carbonates, phosphates. Les mêmes facteurs, de concert avec les agents mécaniques, peuvent au contraire réduire les termes. Théoriquement, ce sont les termes supérieurs du cycle qui ont le plus de chances de ne pas avoir le temps nécessaire ou les conditions délicates voulues pour se former. Ainsi beaucoup de couches n'ont pas de vrai toit géologique, c'est-à-dire avec les caractères indiqués ci-dessus. A peine le charbon est-il déposé que la stampe stérile se produit, commençant souvent alors par un

grès grossier, voire un conglomérat, indice de changement brusque dans les conditions de formation. Le combustible lui-même peut manquer ou être réduit à une simple feuille de combustible terreux. Les mineurs belges disent alors qu'il y a une passée, en voyant du toit reposer sur du mur sans charbon intercalé.

Beaucoup plus rarement le mur fait défaut, ou il est représenté par de rares radicelles, la couche reposant directement sur du grès ou du gannister. Les variations dans l'action des divers facteurs susdits, surtout pour les facteurs mécaniques, peuvent avoir été brusques, produisant des contacts nets et tranchés de roches diverses. Mais ces variations peuvent avoir été et ont très souvent été lentes et progressives. Et alors on constate, entre les divers termes du cycle ou des stampes stériles, les passages par transition la plus insensible, ou par alternances, montrant que tous les termes ont la même origine sédimentaire.

Corps étrangers. — Parmi les objets rencontrés dans le terrain houiller et que l'on peut qualifier de corps étrangers, nous citerons les troncs-debout et les cailloux exotiques trouvés dans ou au voisinage immédiat des veines de combustible. Parlons d'abord des premiers.

On rencontre des troncs dits debout partout dans l'épaisseur du Houiller, dans les stampes stériles, les toits et les murs, mais jamais on n'en a signalé un seul là où ils devraient être innombrables : dans la prétendue forêt houillère, c'est-à-dire dans la couche de charbon elle-même. Aussi, pour nous, le tronc-debout, dans le type de bassin que nous étudions, n'est jamais en place. C'est un tronc flotté qui, par suite de la position basse de son centre de gravité, flotte verticalement et, en s'enlisant dans les sédiments, conserve cette position. L'immense majorité de ces troncs, bien loin d'être en place, n'ont plus gardé de leur origine végétale qu'une mince pellicule ou écorce charbonneuse et une grossière forme conique (les cloches si redoutées du mineur).

Quant aux cailloux, roulés le plus souvent, et constitués par des roches diverses, voire par du charbon, ils ont été enlevés, enchevêtrés dans les racines des arbres qui croissaient sur des cailloutis continentaux. Après avoir flotté plus ou moins loin, ces arbres, en se décomposant, ont mis ces cailloux en liberté et ceux-ci se sont précipités dans la houille qui se formait sous les eaux où flottaient les arbres.

Faune. — Dans les grands bassins du type que nous étudions, il est possible d'introduire une division en deux catégories, tant

au point de vue faunique qu'au point de vue lithologique. Le fait a déjà été signalé et je me contente de le rappeler brièvement. Dans la catégorie que l'on peut appeler européenne, car elle est celle des grands bassins du Nord-Ouest de ce continent, dans l'immense majorité des cas on passe du Dinantien calcaire et marin au Westphalien également marin, mais surtout schisto-siliceux, sans discordance de stratification. Il en est de même au point de vue paléontologique. Non seulement la faune reste absolument marine, mais parmi les divers groupes zoologiques des genres dinantiens, des espèces même se poursuivent dans le Houiller. Mais petit à petit des changements graduels se manifestent. Les êtres franchement marins disparaissent peu à peu, surtout quand la formation houillère productive commence, amenant avec elle un dessalement progressif de la cuvette marine. A un moment donné on voit apparaître des lamellibranches complètement nouveaux qui devaient plus tard caractériser la formation devenue complètement d'eau douce, mais qui, à leurs débuts, pouvaient probablement habiter des milieux assez salins. Ce qui le prouve, entre autres faits, c'est qu'ils ont bien résisté aux récurrences de faunes marines, prouvant que le passage du facies marin au facies d'eau douce s'est fait par alternances.

Enfin, sans que le fait amène dans le houiller de discordance notable, le milieu houiller est redevenu complètement marin sur de vastes étendues, et cela plusieurs fois. La modification du milieu a été si lente que les poissons, en grand nombre, ont passé d'un milieu à l'autre sans en souffrir.

Dans la seconde catégorie des bassins houillers étendus, celle que l'on a appelée mississipienne, le facies marin persiste jusqu'au bout, en dominant, avec des épisodes moins ou pas salées, correspondant à la formation intermittente de gisements de combustibles, alors que dans les stampes stériles abondent les roches calcaires à faune marine. C'est le cas dans le bassin du Donetz et dans ceux du bassin du Mississipi. Des variantes, dans certains bassins, établissent des transitions entre les deux catégories.

Après avoir ainsi exposé, dogmatiquement, comment je conçois la formation des gisements de combustibles houillers, il me reste maintenant la tâche d'exposer les observations et les considérations sur lesquelles je m'appuie. Pour éviter des redites inutiles, je me baserai surtout sur mes observations personnelles. Je ne ferai pas d'historique du problème; il a déjà été fait bien des fois, et en grand détail, et je renvoie ceux que ce

point de vue intéresse au magistral travail de J. Stevenson (**130**), où l'on trouvera de plus une bibliographie raisonnée et détaillée du sujet.

Je ferai d'abord, dans une deuxième partie, la démonstration de la théorie, en m'appuyant sur des observations personnelles et sur la discussion des études faites, en Belgique, par d'autres auteurs. Cette démonstration sera divisée en chapitres, où j'examinerai les points les plus importants du problème.

DEUXIÈME PARTIE

DÉMONSTRATION DE L'HYPOTHÈSE

CHAPITRE PREMIER

Le mur des couches de charbon.

Les mineurs, gens très observateurs, savent depuis longtemps que la roche gisant sous les couches, et qu'ils appellent le mur de la couche, a des caractères autres que ceux du toit qui recouvre ces couches.

Il a fallu du temps avant que la chose fût connue des géologues; mais alors, et quand on a su que c'était un fait général dans tous les grands bassins, il a excité, avec raison, un vif intérêt. Quand on a su, de plus, que dans le toit les végétaux sont représentés par leur partie aérienne, déchiquetée et étalée à plat, tandis que, dans le mur, on ne trouve guère que des racines plus ou moins transversales, l'idée est venue, très naturellement, qu'on se trouvait en présence des restes d'une végétation ayant vécu à l'endroit même où l'on en retrouve les restes. L'idée que le mur n'était autre que le sol dans lequel les plantes houillères s'étaient enracinées devait sembler toute naturelle. Ce devait être, comme on l'a appelé plus tard, un sol de végétation en place, et cette opinion fut universellement adoptée. Comme conséquence, on abandonna complètement la théorie, la première en date, qui considérait les veines de charbon comme un sédiment transporté.

Mais on sait combien difficilement on arrive à la connaissance d'une vérité scientifique et par quels flux et reflux une théorie doit passer avant d'être stabilisée. Au début, dans toute idée nouvelle, tout semble convaincant; on ne connaît pas encore les objections et l'on se contente d'un examen superficiel. C'est ce qui est arrivé pour l'explication de l'origine du mur. Le fait

d'y voir des racines semblait si convaincant qu'on a jugé inutile d'examiner la chose en grand détail, vu surtout, comme nous l'avons dit, que l'observation est chose bien difficile dans ce cas-ci. Aussi on s'est passé l'idée, de génération en génération, comme une sorte d'idée inutile à démontrer, un axiome. Lisez la description que l'on a donnée tant de fois de nombreux bassins houillers. En deux lignes la question de leur origine est tranchée : on signale que leurs couches reposent sur un mur avec des radicelles, et l'on déclare que la formation est autochtone, sans plus.

Ce n'est pas de cette façon que l'on arrive à la vérité. Des affirmations, quelque nombreuses qu'elles soient et nonobstant l'autorité de ceux qui les émettent, sont sans valeur probante. Convaincu que les couches de houille ne pouvaient être formées sur place par d'autres faits que je signalerai plus loin, j'ai voulu en avoir le cœur net et j'ai étudié longuement et en détail les caractères des murs. Pour l'édification de ceux qui voudraient recommencer cette étude, et j'espère qu'on le fera, et souvent, voici comment j'ai opéré :

Dans de nombreux bassins, l'étude sur place, dans les chantiers miniers, ne donne rien ou presque rien. Les conditions de gisement permettent de localiser les travaux dans les couches, sans entamer les terrains encaissants. Mais, heureusement pour les géologues, le grand bassin horriblement plissé qui s'étend de l'Irlande à la Westphalie, par le Nord de la France et la Belgique, nécessite, pour son exploitation, d'innombrables travers-bancs où toute l'épaisseur du Houiller se dévoile. Mais il faut se hâter, car les procédés modernes de revêtement des galeries, de plus en plus usités, soustraient à toute observation puits et bouveaux. Mais, somme toute, ce n'est pas là que l'on peut faire les observations de détail minutieux. Les conditions d'observation, lumière surtout, sont trop défectueuses. Seuls les faits frappants se décèlent, et ce que l'on peut faire de mieux, c'est de recueillir de belles séries d'échantillons, bien répérées, pour étude au laboratoire. Dans les bassins que je viens de citer, il est une autre source précieuse de matériaux; ce sont les terrils où s'amassent les roches stériles provenant des travaux du fond. Les morceaux provenant du mur des couches, souvent très volumineux, y prédominent, car des raisons techniques bien connues font que les galeries, les plus nombreuses, de loin, doivent entamer le plus souvent le mur pour avoir une hauteur suffisante. Sur les terrils, en pleine lumière, on peut faire une bonne récolte d'échantillons, choisir les meilleurs, les plus

démonstratifs. En prenant ceux qui portent encore, d'un côté, la surface plane, charbonneuse (la dessoivre de charbon, comme disent les mineurs du Hainaut), on connaît la position de l'échantillon par rapport à la couche. Les murs des diverses couches sont souvent si différents, qu'avec l'aide du personnel du charbonnage on peut retrouver à quelle couche appartiennent les échantillons que l'on juge convenables. Mais une troisième source de matériaux, de très loin la meilleure, est fournie par les carottes des sondages à la couronne. Elles sont souvent d'un diamètre considérable et l'on peut les amener, bien propres, avec des surfaces unies, polies même par le rodage, et où, partant, bien des faits sont déjà discernables qui auraient passé inaperçus sur des surfaces rugueuses. De plus, un débitage poussé aussi loin que l'on veut, ne laisse passer aucun détail, si minime soit-il. Le repérage de ces détails est possible avec la plus grande précision. Dans les nombreux kilomètres de carottes que j'ai pu disséquer, j'ai noté des détails et des faits intéressants. J'ai conservé une collection considérable des échantillons les plus démonstratifs. Pour permettre des études ultérieures et des vérifications, j'ai conservé, sans les débiter, plusieurs séries de quelques mètres de murs de diverses couches se trouvant dans des conditions de gisement régulières.

C'est de l'étude de ces divers matériaux que j'extrais les observations dont je vais faire l'exposé, en les séparant suivant divers ordres d'idées. Comme précédemment, je donnerai d'abord l'affirmation d'un fait, puis ses preuves suivront avec la critique des opinions opposées, le cas échéant [1].

1re Observation.

Le mur d'une couche de charbon n'est pas un sol de végétation, c'est-à-dire un sol dans lequel auraient vécu les racines qui s'y trouvent. A part ce seul fait de renfermer des racines, souvent transversales, ce prétendu sol n'a aucun des caractères d'un pareil sol et il en a qui excluent cette origine.

On sait maintenant que les plantes qui ont donné naissance à la houille ne sont ni des mousses, ni d'autres végétaux herbacés, mais bien des arbrisseaux, des arbustes et surtout des arbres, même de dimensions considérables. En fait donc, la

---

[1] J'avais d'abord pensé joindre, en annexe à ce travail, une série de descriptions de mur, détaillées, pour appuyer les observations que je présente dans ce chapitre. L'ampleur qu'il a pris me force à réserver pour un travail ultérieur la publication de ces descriptions.

végétation houillère constituait, de son vivant, une forêt. Or le sol de végétation d'une forêt dense, comme la forêt équatoriale actuelle, a des caractères que l'on a pu observer et que l'on peut même se figurer sans en avoir vu. Que la forêt soit continentale, subaérienne ou aquatique, prospérant dans une tourbière, un marais ou un swamp, son sol, à très peu de chose près, sera identique. Lorsque, pour une cause ou l'autre, la forêt aura cessé d'exister, si son sol de végétation reste en place, non remanié, qu'y verra-t-on nécessairement? Dans certains arbres des swamps actuels, le palétuvier notamment, il n'y a pas de souche. Les racines maîtresses se réunissent, pour former un tronc, au-dessus de l'eau. Les arbres houillers (Lycopodiacées, Equisétacées) avaient une souche, comme presque tous nos arbres actuels. Les nombreuses figures de troncs-debout ne laissent aucun doute à cet égard.

Cela étant, on devrait retrouver dans ce sol de végétation d'innombrables souches des arbres de la forêt houillère. De ces souches devraient partir des racines maîtresses bifurquant comme on le voit dans les troncs-debout les mieux conservés. Enfin, sur ces racines ou *Stigmaria* devraient s'insérer, en connexion anatomique, à chaque cicatrice d'insertion, une radicelle. Dans un sol non remanié on ne voit pas comment les souches auraient pu disparaître au point de ne plus laisser que des racines et des radicelles. C'est cependant ce que l'on voit dans tous les murs. Admettons — ce n'est cependant pas le cas — que les troncs-debout trouvés dans les murs soient ces souches. Il serait impossible de trouver cent citations de troncs-debout dans les innombrables murs traversés dans les houillères, alors qu'il devrait y en avoir autant que d'arbres dans les forêts de l'époque, c'est-à-dire des milliards. Où sont disparus les autres? S'ils ne sont pas enlevés par érosion mécanique, on dira peut-être que la putréfaction les a fait disparaître. A priori, cette explication est invraisemblable. On sait combien les parties aériennes des végétaux houillers, notamment les feuilles, si altérables, ont pu se conserver, alors que dans les toits, on les trouve avec leurs moindres détails; elles ont cependant voyagé, flotté, avant de se sédimenter. Par contre, la souche est certes la partie la moins altérable d'un arbre. Destinée à vivre dans le sol, elle a été pourvue, nécessairement d'une résistance plus grande à l'altération, à la putréfaction. Tout le monde sait que si l'on déboise un terrain en laissant les souches, celles-ci restent des années avant de disparaître, alors que plus rien ne les protège contre l'accès de l'eau, de l'air et des bactéries. Evidemment,

pendant la longue vie d'une forêt houillère, les souches anciennes font place aux plus récentes; mais les dernières, celles qui existaient au moment où la forêt a cessé de vivre, n'avaient plus aucune raison de disparaître pour faire place à d'autres. Elles étaient, de plus, protégées contre la décomposition par une couverture acide et antiseptique, la couche de houille, et plus haut par une couche d'eau ou de sédiments.

La présence des rares troncs-debout est là d'ailleurs pour montrer que les souches ne se décomposaient pas dans les murs, puisque ces troncs sont conservés.

Dans la théorie autochtone il y a encore une autre difficulté du même genre. Admettons pour un moment que les souches aient pu disparaître. On ne saurait jamais l'admettre pour les

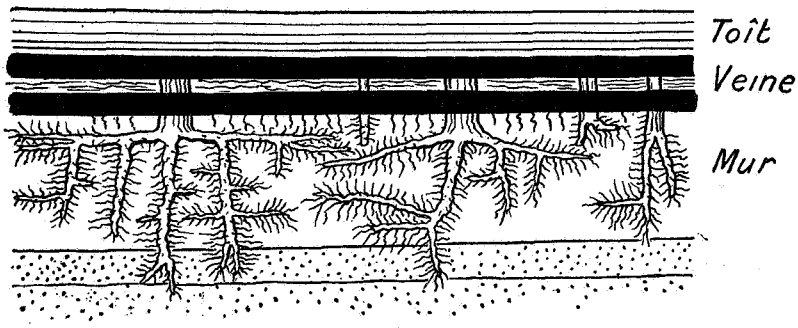

FIG. 1. — **Mur autochtone tel qu'il devrait être (simplifié).**

racines. Il y en a en effet des milliers dans les murs, tantôt très nombreuses dans certains murs, tantôt très rares dans d'autres, sans qu'il y ait l'ombre d'une cause pour cette différence. Mais en tous cas, dans les nombreux murs que j'ai vus, je n'ai *jamais* vu ces racines converger de façon à montrer qu'elles tendaient vers une souche à laquelle elles auraient été rattachées, mais qui aurait disparu. Il est même très rare de voir ces *Stigmaria* juste sous la couche se diriger vers cette couche, ce qui semble cependant devoir être, dans ce cas, la règle générale.

La conclusion à tirer de tout cela, c'est que le mur est un sol de végétation forestière bien étrange. Il ne renferme pas tout ce qu'il devrait renfermer de plus visible : les souches; et les racines qu'on y trouve n'ont pas les allures qu'elles devraient avoir si elles étaient en place. Leur nombre est d'ailleurs infiniment trop réduit. Seules les radicelles sont en nombre suffisant, chose d'autant plus étrange que, de l'appareil souterrain d'une

plante, c'est la partie la plus fragile et la plus altérable. Nous dirons d'ailleurs plus loin ce qu'il faut penser d'elles.

Les caractères d'un sol de végétation forestière en place est quelque chose de si frappant, de si commun et de si facile à concevoir, que je ne puis comprendre comment on n'a pas encore signalé la différence qu'il y a entre un mur et un pareil

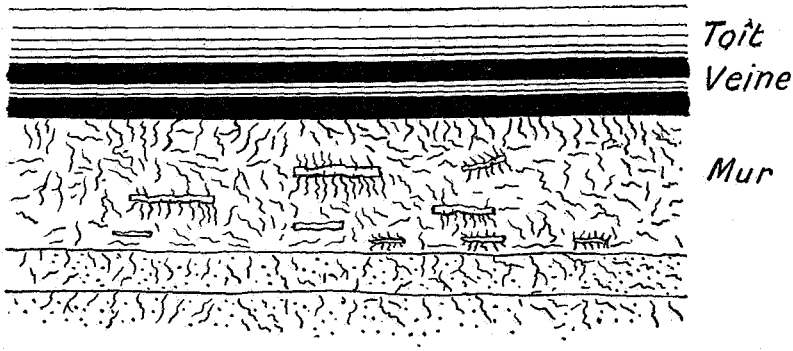

FIG. 2. — **Mur tel qu'il est le plus souvent.**

sol. Cela provient sans doute de ce que la plupart de ceux qui ont parlé des murs n'en avaient jamais vu sur place. On peut concrétiser cette première observation sous forme de deux schémas comparés (fig. 1 et 2) dont j'emprunte l'idée à Gresley (**67**).

2e Observation.

Nous arrivons maintenant au point le plus important de tout notre travail. Il s'agit de voir la signification des innombrables radicelles que l'on observe dans la plupart des murs, radicelles dirigées dans tous les sens et souvent plus ou moins obliques par rapport à la stratification. Je l'ai dit plus haut, ces radicelles ne sont pas en place. Ce sont des débris plus ou moins importants de l'appareil souterrain des plantes de l'époque, arrachés de leur sol natal, transportées plus ou moins loin, puis sédimentées, en même temps que la roche qui les renferme.

Lorsqu'un mur typique est surmonté d'une couche de charbon, celle-ci représente, dans la théorie autochtone, la forêt ou les restes de la forêt dont le mur représente le sol de végétation. Si ce charbon n'a pas subi de transport, à plus forte raison le mur qui est au-dessous, beaucoup plus résistant à l'entraînement, avec son feutrage de radicelles, ce mur doit être en place et n'a pas subi de remaniements. C'est là une déduction inéluctable. Dans un mur, tout ce qui a vécu durant l'existence de la

forêt est en place, et ne peut pas avoir été brisé, déchiqueté, morcelé. L'altération, la décomposition peuvent avoir enlevé certaines parties plus altérables ou plus anciennes, mais on ne conçoit pas qu'elles puissent avoir rompu les connections anatomiques de toutes les parties de l'appareil souterrain de toutes les plantes de la forêt. On observe, en effet, dans les murs des restes évidents, innombrables, de radicelles qui devaient donc être peu altérables. Or, quand on examine ces radicelles, non pas superficiellement, mais avec patience et minutie, on voit que ce ne sont que des morceaux, très rarement en connexions anatomiques avec les rares *Stigmaria*, lesquels *Stigmaria* sont non moins rarement en connexion avec des souches. Or, si le mur était en place, ces connexions devraient être, non pas l'infime exception, mais la règle générale.

Les radicelles du mur sont donc le correspondant exact des débris végétaux que l'on observe si fréquemment dans les roches stériles du Houiller, à tous les niveaux, et que l'on appelle roches à végétaux hachés : *Haecksel* des géologues allemands. Ces débris de végétaux à aspect de paille hachée comprennent d'ailleurs non seulement des restes des parties aériennes de la flore houillère, mais aussi de nombreux débris de radicelles.

Cette constatation capitale, tous ceux qui voudront la vérifier pourront le faire en répétant les opérations que j'ai faites sur de nombreux échantillons de murs provenant de travaux, d'affleurements, de sondages ou de terrils. Tout d'abord, en observant de grandes surfaces de mur, on peut y voir des radicelles isolées dont on voit les deux extrémités et qui ne se rattachent à rien et ne sont donc pas en place. Mais pour être bien fixé sur ce fait capital, absolument inexplicable dans l'autochtonie, il faut faire plus : il faut prendre de bons et gros morceaux de mur bien compact, assez tendre. La matière n'est pas rare; il y en a tant qu'on veut. On fend d'abord l'échantillon, puis sur une des faces de la cassure on répère et numérote quelques radicelles assez fortes et les plus visibles. On en choisit parallèles à la surface de la cassure et d'autres transversales. Puis sur l'autre face de la cassure, on tâche de retrouver l'empreinte correspondant à celle de l'autre face et on la numérote de même, pour être bien sûr d'avoir les deux parties d'une même radicelle. Pour faire ce repérage et cette concordance, on attrape vite de petits tours de main que je juge inutile d'exposer ici.

Cela fait, au moyen d'un petit burin, on dégage et l'on suit la radicelle, d'abord en partant d'une face de cassure, puis de l'autre. Cela demande du temps et il faut acquérir l'adresse

manuelle nécessaire. Mais on y parvient, et alors, chaque fois que j'ai répété cette expérience, — et je l'ai répétée souvent, — je n'ai jamais manqué d'arriver à la fin de la radicelle, aux deux bouts, sans qu'aucune extrémité ne fût libre et sans connexions anatomiques. Sur les *Stigmaria* l'opération est beaucoup plus facile et donne les mêmes résultats. Pour se faire une conviction, chacun doit s'astreindre à répéter les mêmes opérations. En effet, il n'est pas possible de garder des échantillons démonstratifs pour d'autres. Je l'ai essayé, sans réussir. Au dernier moment, pour être bien sûr qu'on tient le bout d'une radicelle, il faut détruire ce bout dans ce qu'il a de démonstratif, et alors l'échantillon ne signifie plus rien.

Tous ceux qui auront l'idée d'examiner les murs, non pas dans les livres, mais sur la matière elle-même, auront bien vite, comme moi, la conviction qu'on se trouve là non pas devant un mur sol de végétation, mais devant de la paille hachée de radicelles mêlée d'un peu de racines fragmentaires (*Stigmaria*) et de rarissimes souches (troncs-debout). Cela ne ressemble donc pas à un sol de végétation dont la caractéristique essentielle n'est pas seulement de renfermer des radicelles, des racines et des souches, mais est surtout d'avoir tout cela en place, en connexions anatomiques. Sans son mur, sol de végétation, la théorie autochtone s'effondre, car c'est, de loin, son principal argument.

La remarque suivante permet aussi de conclure que les radicelles du mur sont des fragments hachés. On sait que ces radicelles sont des appendices de racines ou *Stigmaria*. De plus, ces radicelles sont courtes. Je n'en ai jamais trouvé ayant 0 m. 20 de long. Elles sont bien plus petites et très rarement bifurquées. Pour que ces radicelles soient en place, il faudrait toujours que sur un cube de 0 m. 20 de côté il y ait au moins un *Stigmaria*. Or, il y a beaucoup de murs où les *Stigmaria* sont rarissimes. On peut s'en assurer aisément en débitant un gros bloc de mur, en pleine lumière, sur un terril de charbonnage. A cause de leur dimension, les *Stigmaria* sont faciles à dépister. C'est une question de patience. On voit des murs où, sur deux ou trois mètres de hauteur, on n'en trouve pas un seul. A quoi se rattachaient alors les nombreuses radicelles visibles dans le mur? On sait aussi que les *Stigmaria* étaient des racines se rattachant à des troncs, de Sigillaires surtout. On a bien prétendu que les *Stigmaria* étaient des plantes flottantes, des rhizomes sans tronc. Cette opinion n'a pu voir le jour que par suite du fait que l'immense majorité de ces *Stigmaria* sont

incomplets, arrachés du tronc auquel ils se rattachaient. Vu leur grandeur, il est beaucoup plus facile de démontrer l'état fragmentaire des *Stigmaria*, car en les suivant au burin dans un mur, on ne tarde pas à trouver les deux bouts, tantôt coupés net, tantôt déchirés, effilochés ou tournant à rien. Mais alors que ces objets sont si peu communs, alors qu'ils devraient être si abondants, parfois on les trouve amassés, par suite de circonstances spéciales de sédimentation, sans doute.

Au charbonnage de Marihaye, puits de Flémalle, étage Sud à 645 m., j'ai vu une paroi Sud de voie de niveau, dans la couche Stenaye, littéralement couverte de *Stigmaria* de tout diamètre, étalés à plat, dans un désordre indescriptible. La couche étant en dressant, l'observation de la paroi était facile sur des centaines de mètres de long et elle était située dans le mur psammitique de la couche. Rien n'était plus aisé de voir que ces *Stigmaria* ne se rattachaient à aucune souche et étaient en fragments.

Dans les figurations de murs que nous ont données les partisans de l'autotochnie, la représentation des murs est très souvent schématisée, au point d'être inexacte et décevante. On y représente l'appareil souterrain des plantes, non pas comme il est, avec toutes les connexions anatomiques rompues pour la plupart des restes, mais bien comme cet appareil devrait être, c'est-à-dire un système complet de racines et de radicelles convergeant vers une souche. On chercherait vainement une coupe observée, repérée et décrite, représentant l'appareil souterrain d'un grand arbre. Et pourtant, ce n'est pas un exemple qu'on devrait voir; ce devrait être la règle partout. Pour illustrer ce que je viens de dire, je renvoie à la coupe où R. P. G. Schmitz a figuré une souche découverte au mur d'une couche. La figure du mur montre, à côté de la souche, dont nous reparlerons plus tard, un mur avec des racines et radicelles convergeant vers la base de la couche. Mais dans le texte (**122**), il a soin de dire que son figuré est conventionnel. Je le crois volontiers; jamais je n'en ai vu de pareil.

3e Observation.

On m'objectera certainement que l'on trouve assez souvent des radicelles en connexion avec des *Stigmaria*. Je suis loin de le nier, car c'est un cas qui n'est pas rare. Mais encore une fois, quand les circonstances s'y prêtent, si l'on suit ces *Stigmaria*, on verra qu'ils sont coupés aux deux bouts et que, par conséquent, ils ne sont pas non plus en place, mais que ce sont des

débris plus grands que d'ordinaire, dont le déchiquetage n'a pas été poussé aussi loin que pour les autres débris voisins, et celà pour quantité de raisons aisées à deviner. Ce qui le prouve, c'est qu'on rencontre, dans les murs, des *Stigmaria* avec radicelles encore attachées et d'autres, plus rares il est vrai, sans aucune radicelle. Et quant à ceux qui ont encore des radicelles attachées, un examen attentif montre les particularités suivantes, incompatibles avec l'idée qu'ils seraient en place.

Il est si rare de rencontrer un *Stigmaria* ayant encore des radicelles partant de *toutes les cicatrices*, que je n'en ai jamais vu un seul, malgré les milliers qui me sont passés par les mains. C'est si vrai que Potonié (**101**) a considéré comme une trouvaille digne d'être notée, la rencontre, dans le Houiller silésien, d'un *Stigmaria* avec des radicelles partant, non pas seulement de deux côtés, mais en haut et en bas, donc dans tous les sens. Le texte de sa note ne permet pas d'ailleurs de décider si son spécimen possédait un nombre de radicelles égal à celui de ses cicatrices d'insertion de radicelles. Là, en effet, est toute la question. Si quelques radicelles sont conservées, pourquoi ne le sont-elles pas toutes, si la racine est en place? Il en a encore figuré deux autres exemplaires, preuve de l'importance qu'il leur attribuait, mais aussi preuve de leur rareté (**104**, p. 98) et (**106**, p. 5). Mais on voit bien, d'après ses figures, que des radicelles manquent, surtout au second. Et, je le répète, ce n'est pas un spécimen qu'on devrait trouver, mais des milliards attachés aux milliards de souches des milliards de plantes des forêts houillères. Où sont allés les autres souches et les autres *Stigmaria*?

Quand on examine ces *Stigmaria* avec radicelles encore attachées, voici ce que l'on observe : dans l'immense majorité des cas, les radicelles ne restent attachées, au complet ou presque au complet, que suivant un plan, lequel est toujours ou presque toujours parallèle à la stratification ou peu oblique à celle-ci. Si alors on prend ces échantillons, où l'on voit la figure reproduite dans tous les traités, d'un *Stigmaria* à plat sur un joint avec des radicelles étalées dans le même plan, les deux côtés du *Stigmaria* auquel les radicelles se rattachent; si l'on prend, dis-je, ces échantillons, voici ce qu'on peut y voir, si on les débite à fond avec patience, au moyen du burin :

De rares spécimens ne portent de radicelles que sur deux lignes, à l'intersection du plan de stratification, mais beaucoup plus souvent, des radicelles partent de tout le pourtour du *Stigmaria;* mais, et la chose est capitale, ce n'est que le long des

deux lignes susdites que le nombre de radicelles est au complet, et ce n'est pas encore toujours le cas. Dans tous les autres sens le nombre de radicelles est très nettement inférieur, et souvent de beaucoup, au nombre de cicatrices d'insertion. Rien ne permet d'expliquer ce fait dans la théorie de l'autochtonie. Il est au contraire aisé de se le figurer dans la théorie opposée.

Dans les travaux concernant la flore houillère ou le mode de formation des gisements houillers, on trouve fréquemment affirmé que les arbres de l'époque avaient des racines, non pas pivotantes, mais traçantes et s'étendant horizontalement. Cette affirmation était basée sur l'allure horizontale et parallèle aux joints de stratification que les *Stigmaria* exhibent fréquemment, comme nous l'avons dit au paragraphe précédent. On voyait une autre preuve de ce fait dans les troncs-debout, dont les mieux conservés, celui décrit par Potonié, par exemple (**102**), ont une souche formée de quatre maîtresses racines étalées en croix, horizontalement. Naturellement, tout cela a été considéré comme preuve de la formation sur place, dans des marais dont le fond argileux et compact n'aurait pas permis la pénétration des racines, qui, d'ailleurs, n'auraient pu trouver de conditions favorables que dans la couche superficielle du sol.

Encore une fois, cette prétendue preuve repose sur une observation incomplète et sur des déductions simplistes.

Tout d'abord, le fait même est faux. Il y a bien des couches peu épaisses de mur, sous certaines veines; si peu épaisses même qu'on peut difficillement se figurer que ces sols de végétation supposés aient pu nourrir la puissante végétation dont témoigne l'épaisseur de la couche superposée. Mais il y a aussi des murs très épais. C'est surtout dans les échantillons de sondage que l'on peut constater qu'il y a de très nombreux murs épais de plusieurs mètres. J'en ai vu qui avaient 10 et même 15 mètres de puissance. Et, comme nous le montrerons plus loin, c'est surtout au bas des murs qu'on trouve les *Stigmaria*. Ils pouvaient donc pénétrer aussi bas que les racines des arbres de toutes les époques. A priori, d'ailleurs, dans un marais à végétation touffue, comme celle des swamps actuels, les racines des arbres pressés les uns contre les autres ne peuvent se développer horizontalement, mais doivent, pour ne pas entrer en compétition vitale avec les voisins, s'enfoncer le plus vite possible droit en profondeur. De toute façon d'ailleurs, après qu'on aura suivi un *Stigmaria* étendu horizontalement, on devrait le voir, à une extrémité, monter à travers bancs pour s'élever vers le haut, vers les troncs auxquels ces *Stigmaria* devaient se rat-

tacher. Et, encore une fois, ce devrait être là non pas l'exception, mais la règle universelle que commande la physiologie végétale. Dans la formation par transport on peut concevoir aisément comment les faits que nous avons décrits se sont produits. L'explication s'applique en même temps aussi bien aux souches à racines étalées à plat.

Les quelques belles souches avec racines conservées qui ont été décrites font illusion. On ne cesse de les reproduire, et beaucoup de gens s'imaginent sans doute qu'il n'y en a pas d'autres, alors qu'elles sont tout à fait exceptionnelles et que c'est pour cela qu'on les figure. En effet, à côté de ces quelques souches à racines étalées, il y en a des centaines qui ne possèdent plus de radicelles; mais les cicatrices laissées par leur arrachage montrent, par leur position, que ces racines, comme celles des arbres actuels, s'enfonçaient suivant une direction beaucoup plus voisine de la verticale que de l'horizontale.

C'est surtout sur les troncs délabrés, appelés vulgairement cloches, que ce fait s'observe.

Comment expliquer tout cela par transport?

A la surface des continents de l'époque, des arbres croissaient dans les conditions variées qui existent sur des surfaces continentales. Sur des sols profonds, le plus grand nombre des arbres s'enfonçaient profondément par leurs racines. Mais parfois, sur des sols pauvres et minces, une végétation très clairsemée pouvait vivre en étalant ses racines sur une grande surface. Survenait alors le cyclone dévastateur. Pour le premier type d'arbres, les racines, profondément enfouies dans le sol, résistaient et, vu leur nature particulièrement solide, se brisaient au niveau de la souche, qui partait avec le tronc, sans racines, cas le plus fréquent. Au contraire, les maîtresses racines, étalées horizontalement au voisinage de la surface, rapidement déchaussées par les pluies accompagnant le cyclone, pouvaient être facilement entraînées avec la souche et un rudiment de tronc et flotter au loin. Pareil flotteur avait tout ce qu'il fallait pour voyager dans la même posture qu'il avait de son vivant. Son centre de gravité devait se trouver très bas, dans la souche encore alourdie par sa richesse en matières terreuses, par l'entraînement de cailloux et par la forme étalée des racines. Si la verticalité du tronc n'existait pas au début, par suite des courants, en eau tranquille, lors de la sédimentation, la décomposition rapide du tronc réduit à une mince écorce avait dû permettre à la souche de flotter, les racines étalées, dans l'eau et de s'enfoncer dans cette position, comme on la retrouve aujourd'hui.

Un phénomène fort semblable se produisait pour les *Stigmaria.*

Supposons un *Stigmaria* s'étendant dans le sous-sol, horizontalement, avec ses radicelles partant dans tous les sens, comme le montre l'uniformité des cicatrices. Lors de la dénudation produite par les cyclones, des couches successives sont enlevées, entraînant avec elles les radicelles partant du *Stigmaria*, vers le haut, mais quelques-unes résistent. Le *Stigmaria* finit par être mis à nu et est entraîné, emmenant avec lui les radicelles étalées bilatéralement dans le plan de la dénudation. En effet, ces radicelles, mises à nu tout du long, peuvent s'enlever aisément, puisqu'elles ne pénètrent plus dans le sol. En partant, le *Stigmaria* se sépare de la plupart des radicelles qui se dirigent vers le bas et qui sont donc retenues dans le sol. Le *Stigmaria*, avec ses appendices bilatéraux, forme alors un vrai plan de flottaison. Il flottera donc à plat et, en s'enlisant dans les sédiments, il n'aura aucune raison pour modifier sa position.

4e Observation.

Un fait très frappant, et qui a beaucoup contribué à faire croire que les radicelles étaient en place, c'est que, contrairement aux autres débris de végétaux, presque toujours étalés à plat, sur des joints de stratification, dans les murs les plus classiques, les radicelles affectent toutes les positions : à plat, plus ou moins obliques ou verticales. C'est comme cela qu'elles doivent être dans un sol de végétation en place. Reste à voir si l'on ne peut pas expliquer autrement la position verticale ou oblique des radicelles du mur. Avant de donner cette explication, nous exposerons d'abord quelques faits.

A. Disons d'abord, car le fait est connexe, que le mur se caractérise aussi par une texture particulière, au point qu'on la cite comme typique du mur. Cette texture consiste surtout dans le fait que le mur type n'est pas feuilleté ni bien stratifié, comme le toit. Il est compact et se débite, par le choc ou l'altération météorique, en morceaux informes. De plus, la roche du mur la plus fréquente est grossière, schisto-psammitique. Mais, nous le dirons plus loin, il y a une très grande variété dans les murs, au point que l'on peut voir des murs plus feuilletés que certains toits et remplis de racines absolument toutes étalées à plat. Ce sera encore du mur, passant latéralement à du mur type, et la couche qui se trouvera au-dessus ne différera en rien d'une couche à mur classique. La couche aura un faux mur ou

un mauvais mur, comme disent les ouvriers. Il y a, dans le bassin de Liége, une couche appelée Mauvais-mur (*Mauva-deye* en wallon liégeois). Ce nom lui a été donné, non pas parce que son mur est moins bon pour l'exploitation qu'un autre, mais parce que les mineurs ont vu que souvent ce mur est aussi feuilleté que du toit et très pauvre en radicelles. A part cela, la veine n'a rien de particulier. Ce cas est beaucoup plus fréquent qu'on ne le pense.

La texture d'une roche provient de sa composition pétrographique et surtout des conditions existant lors de sa sédimentation. On ne comprend pas que les radicelles, qui, dans la théorie autochtone, sont entrées dans la roche lorsqu'elle était déjà formée, auraient pu complètement transformer sa texture par leur pénétration. Une roche feuilletée perforée de radicelles devra encore garder, entre celles-ci, un feuilletage en petit, mais encore bien visible. On peut en donner une preuve convaincante. Il est très fréquent de voir les murs schisteux passer au grès sous-jacent par l'intermédiaire d'une roche de transition, du schiste psammitique zonaire, formé de minces strates alternant, de schiste foncé et de psammite ou de grès pâle. La différence de teinte met en évidence cette stratification, surtout sur la surface polie des carottes de sondage. On y trouve de nombreuses radicelles transversales ou non, parfois aussi nombreuses, si pas plus, que dans le mur. Rien n'est plus facile que de voir ces radicelles passer au travers de cette roche sans faire disparaître cette texture zonaire identique à un feuilletage.

Lorsque le mur est feuilleté, cas bien plus commun qu'on ne le dit, alors les radicelles sont à plat. Dans les nombreuses coupes de sondage que j'ai publiées, j'ai insisté sur cette disposition à plat des radicelles accompagnant les roches feuilletées. Pour que les radicelles aient pu donner naissance à un mur à structure particulière, il faut que les radicelles aient été dans le mur au moment de sa formation. Cela équivaut à exclure le mode de formation sur place, et cependant c'est là, je pense, un fait évident.

Les murs les plus typiques, à radicelles nombreuses, sont généralement formés, quand les radicelles sont transversales ou obliques, d'une roche grossière particulière. Par contre, les murs feuilletés avec radicelles à plat sont formées de roche argileuse, fine. La différence provient, je crois, uniquement des conditions physiques (peut-être aussi chimiques?) du dépôt. Une sédimentation rapide, en eau assez agitée, donnera un mur typique. Une sédimentation en eau calme et lente donnera une roche fine, typique.

B. Quant à la verticalité ou à l'horizontalité des radicelles, on doit la chercher dans le même ordre d'idées. Prenons comme exemple les toits, où tout le monde admet que les végétaux ne sont pas en place, mais sédimentés après flottaison. On verra que dans ces toits on trouve les mêmes différences que dans les murs. Dans les roches les plus fines, les plus argileuses et les plus feuilletées, on ne trouve jamais une empreinte végétale qui ne soit parfaitement étalée à plat. Mais si la roche devient de plus en plus grossière et psammitique, cette règle présente de plus en plus d'exceptions. Dans les grès, surtout les grès grossiers, les débris végétaux, quels qu'ils soient, sont éparpillés dans tous les sens.

C. Il est encore une autre observation que l'on peut faire plus les débris végétaux sont grands, plans et minces, plus ils se rapprochent donc de la forme d'une planche, plus ils ont naturellement de tendance à flotter à plat et à s'enliser de même. Au contraire, les morceaux informes, petits, sans forme d'équilibre, surtout en eaux agitées, seront susceptibles de prendre les positions les plus diverses. A la lueur de ces diverses observations, il est possible de trouver la cause des particularités des murs. Les radicelles, nous l'avons montré, sont des morceaux. Leur forme est quelconque, car leur seul caractère commun est d'être allongées. A part cela, on en trouve de toutes sortes, larges ou étroites, planes (rarement), le plus souvent tordues, très tordues même. Toutes présentent des replis longitudinaux simulant des côtes grosses, mais informes, tantôt longs, tantôt courts, rares ou nombreux, parallèles ou se réunissant. Enfin, comme dans toute racine, la partie rapprochée du *Stigmaria*, plus ancienne, plus massive, à tissu plus durci, doit être plus dense que la partie terminale, jeune et tendre. Tout cela indique suffisamment que les diverses parties de radicelles, elles-mêmes très diverses, n'ont rien de ce qu'il faut pour avoir une forme d'équilibre identique. Les unes flotteront à plat, les autres obliquement ou verticalement, surtout dans les eaux agitées, où les débris végétaux instables tourbillonneront facilement. La variété de position des radicelles dans un mur classique se comprend donc aisément. Par contre, en eaux très calmes, la sédimentation est très lente. Les radicelles ont le temps, par macération prolongée, de prendre des formes plus simples, plus régulières, ce que prouve l'état de conservation, bien plus défectueux, des radicelles en pareil cas. Aussi ces empreintes, non tourmentées par les mouvements de l'eau, pourront s'étaler, guidées d'ailleurs par le feuilletage du milieu sédimentaire environnant.

Si l'on admet le dépôt simultané des radicelles et des sédiments du mur, alors il est facile de comprendre que ces radicelles, parfois très nombreuses, aient pu influencer la texture du mur au point de lui imprimer une texture particulière, bien entendu dans des eaux agitées. En effet, il est facile de voir, par expérience, que si, dans un sédiment en voie de dépôt, on plante un objet allongé vertical, une baguette, par exemple, il se forme, comme dans les liquides et pour la même raison, un léger soulèvement du sédiment autour de l'obstacle. Mettez de nombreuses baguettes les unes près des autres, et vous verrez que les intervalles ne seront plus nulle part plans. Si vous faites intervenir l'influence d'un mouvement de l'eau et un apport rapide de sédiments, vous vous expliquerez que la production d'un feuilletage soit impossible, surtout avec des matériaux assez grossiers (1).

En pareil cas, les radicelles agissent, non pas comme des êtres vivants, actifs, mais passivement, par leur forme et leur position dressée. Cela est si vrai que j'ai vu des toits un peu psammitiques, bondés de feuilles de Sigillaires, présenter absolument l'aspect et les caractères d'un mur, par leur texture et leurs pseudo-radicelles disposées en tous sens. Un examen plus attentif montrait que ces pseudo-radicelles étaient en réalité de grandes feuilles de Sigillaires, qui ont une certaine ressemblance avec les radicelles, mais s'en distinguent par la présence, sur une face, d'une côte médiane parfaitement rectiligne, bien différente des replis irréguliers des radicelles. Mais à part ce détail, on comprend que la forme générale de ces feuilles, semblable à celle des radicelles, ait pu avoir les mêmes effets sur la structure de la roche.

Il n'est d'ailleurs pas bien rare de voir des roches ayant la même texture, sans présenter de radicelles ni sans se trouver sous une couche de combustible, ce qui montre que cette texture n'implique pas nécessairement la présence d'un sol de végétation ou d'un mur.

5e Observation.

Quand on dispose de bonnes facilités d'observation détaillée, comme celles qu'offre l'étude des carottes de sondage, il est aisé de trouver de nombreuses preuves que la présence, dans

(1) Les expériences de M. Fayol ont montré les troubles profonds que des végétaux verticaux apportent dans la stratification. Il y a là une confirmation du rôle que j'attribue aux radicelles dans la production de la texture particulière des murs (**56**, p. 505).

une roche, de radicelles transversales à la stratification ou de *Stigmaria* pourvus de radicelles adhérentes, ne prouve pas qu'il y ait là un végétal vivant et en place. Il est en effet très fréquent d'observer ce genre de radicelles ou de *Stigmaria* au beau milieu des roches stériles, permettant aisément de voir qu'ils sont en fragments plus ou moins considérables, mais néanmoins, surtout les radicelles, tout à fait transversaux. J'emploie ce terme de « transversal » et non celui de « perforant » utilisé par d'autres auteurs, précisément parce que j'estime que ces radicelles n'ont jamais rien perforé.

Il y a surtout des cas où ce fait est bien visible. En débitant les échantillons provenant de stampes stériles, j'ai très fréquemment rencontré, surtout dans les roches grossières, un peu psammitiques, comme la roche de beaucoup de murs typiques, des radicelles transversales, le plus souvent de largeur considérable. Et ce qui montre avec la dernière évidence qu'il s'agissait de débris flottés, c'est que les bancs où je trouvais ces radicelles étaient minces, quelques centimètres souvent. Or, en examinant les deux joints limitant ces petits bancs, on n'y voyait aucune trace de l'extrémité de ces radicelles et les bancs encaissants ne montraient d'ailleurs aucune radicelle. On pourrait expliquer la disparition des radicelles au-dessus du petit banc en admettant, comme pour les troncs-debout, que la partie supérieure des radicelles a été enlevée par érosion ou putréfaction, mais il ne saurait en être de même vers le bas. En pareil cas, j'ai toujours eu soin de voir si les deux joints séparatifs de ces petits bancs ne portaient pas de traces pouvant permettre de faire appel à l'explication si commode de glissements qui auraient coupé les radicelles. Dans l'immense majorité des cas, en Campine surtout, où les glissements sont si rares, je n'ai pas vu le moindre indice permettant de supposer un glissement parallèle aux joints de stratification.

Je vais décrire deux cas de ce genre, très instructifs et pré-

FIG. 3.

sentant tous ces caractères de fragments de radicelles hachées, et transversales néanmoins :

1° Dans une carotte de schiste psammitique zonaire provenant du sondage n° 69 de Winterslag, profondeur 550 m., au milieu

d'une stampe stérile de 16 m., formée surtout de roches zonaires avec lits de schiste riches en *Carbonicola*, par places, un échantillon montrait, sur une diaclase perpendiculaire aux strates, des radicelles coupées aux deux bouts (fig. 3).

2° Au charbonnage du Bois communal de Fleurus, bouveau Nord, à 670 m., un banc de schiste noir feuilleté avec larges radicelles à plat, compris entre deux veinettes situées à 324 et 328 m. de la veine Gros-Pierre, présentait, sur une cassure perpendiculaire aux strates, l'aspect suivant (fig. 4) :

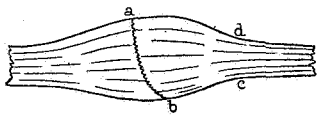

FIG. 4.

Une cassure, suivant le joint de facile division *a-b*, offrait la section ci-dessous (fig. 5). On ne voyait aucune trace des grosses radicelles, visibles sur ce joint, sur les joints de stratification *c-d*. Il était évident que les morceaux de radicelles existaient

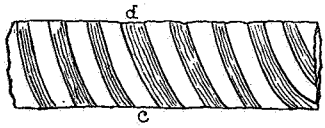

FIG. 5.

dans la roche au moment de son dépôt, et ce sont elles qui ont forcé les deux joints de stratification à se bomber.

Des cas semblables sont fréquents, surtout dans les stampes stériles.

Dans beaucoup de spécimens de ce genre, les radicelles isolées ou attachées à un *Stigmaria* sont recourbées dans le même sens, comme sous l'influence d'un courant.

Maintes fois j'ai pu aussi, dans des murs ou en pleine stampe stérile, observer des *Stigmaria* portant attachées encore quelques radicelles, mais celles-ci, cisaillées net par un joint de stratification, au-dessous ou au-dessus, sans qu'on pût trouver le prolongement des radicelles dans les bancs encaissants. J'ai conservé quelques échantillons montrant ces faits; mais, malheureusement, dans ce cas-ci aussi, le débitage qu'il faut faire pour mettre bien tout en évidence a pour résultat de détruire petit à petit l'échantillon, qui finit par ne plus être convaincant du tout. Pour se faire une conviction, il faut répéter soi-même les observations.

6e Observation.

Il est un fait extrêmement important et que les partisans de la formation autochtone ne sont jamais parvenus à expliquer; aussi ils n'en parlent pas du tout. Nous allons l'examiner de près, car il le mérite. Le plus grand nombre de couches ne sont pas constituées, comme on pourrait le croire, d'un seul banc plus ou moins épais de charbon. Déjà l'on voit de petites veinettes divisées en deux ou trois lits par des intercalations, parfois très continues, de roche stérile. Plus une veine est épaisse, et plus cette complexité augmente. Il y a dans la terminologie locale de tous les bassins houillers une infinité de noms pour désigner les différentes roches dont se composent ces intercalations stériles, d'autant plus intéressantes pour le mineur qu'elles facilitent ou contrarient l'exploitation des couches. Souvent tendres et meubles, quand elles sont minces, souvent chargées de matières charbonneuses, ces intercalations, pouvant d'ailleurs exister très souvent au toit ou au mur de la couche, facilitent singulièrement, sous le nom de havage (en Belgique), l'extraction du charbon. Mais ces intercalations peuvent être dures et pierreuses (barres, cailloux, etc.) et plus l'intercalation s'épaissit, plus elle passe à la roche cohérente. Il existe des barres très dures et très continues, sur de vastes étendues. La Dure-Veine du Bassin de Liége doit son nom à la présence d'un banc très continu, mince, ayant souvent moins de 0 m. 10 au milieu de la couche.

Il est impossible de douter que ces intercalations soient dues à l'intervention d'un phénomène sédimentaire, vu leur nature terreuse et pierreuse.

Si certaines de ces barres, en pyrite ou en carbonate de fer, peuvent être d'origine organique ou chimique, avec la meilleure volonté du monde il est impossible d'admettre la formation sur place des intercalations de schiste ou de grès. Ce sont des dépôts sédimentaires, formés au sein de l'eau, et d'une eau assez profonde pour expliquer la continuité et la régularité de ces intercalations. D'ailleurs, en suivant ces intercalations latéralement, il est commun de les voir s'épaissir au point de former alors des stampes stériles ayant des dizaines de mètres de puissance.

J'ai montré jadis (**144**, p. 19) que les veines les plus puissantes du bassin de Liége provenaient de la concentration, en une petite région, de plusieurs veines qui, aux alentours, étaient séparées par des stampes stériles épaisses, s'amincissant progressivement de façon à constituer une veine puissante séparée en

plusieurs lits, mais par de minces intercalations. On sait très bien que la puissante couche du bassin polonais de Sosnowice s'effiloche ainsi, vers la Silésie, en plusieurs veines fortement séparées par l'épaississement des intercalations de la grosse couche. Il en est de même du *Thick coal* du South Staffordshire, pour ne citer que les exemples les plus classiques.

Or, quand on examine attentivement ces intercalations stériles, si elles sont minces, en-dessous de 0 m. 50 par exemple, il est rarissime de les voir constituées par du vrai mur classique. Il y en a beaucoup qui ne renferment aucune radicelle. Jamais je n'y ai vu ou vu citer un *Stigmaria*, à plus forte raison une souche ou un tronc. Souvent il n'y a aucune empreinte végétale reconnaissable, quoique la teneur en matières combustibles puisse y être assez forte. Quand il y a des radicelles, elles sont nombreuses, mais alors tellement entassées les unes sur les autres, à plat, qu'on ne saurait soutenir qu'il s'agit de radicelles vivantes. Il y a parfois d'autres débris, mais toujours à plat. Si l'intercalation est plus épaisse, elle prend de plus en plus le caractère du mur et d'autant plus que l'épaisseur est plus grande. Mais même dans ce cas, on peut distinguer deux parties dans ce mur intercalaire. En partant du lit ou de la veine supérieure vers le lit de charbon sous-jacent, le mur prend de plus en plus le caractère de toit, en perdant celui de mur. Il devient de plus en plus feuilleté, les radicelles sont de plus en plus rares, de plus en plus disposées à plat. Quand il se forme ainsi, sur le lit de charbon inférieur, un vrai toit de schiste noir, riche en carbone, bien feuilleté et doux, les rares radicelles qu'on y rencontre ont un aspect particulier qui ferait croire qu'il s'agit de radicelles d'une autre espèce de plantes que les radicelles de *Stigmaria*. En effet, au lieu de se montrer sous la forme de lanières étalées ou aplaties, ce sont des cylindres très irréguliers, généralement un peu ovalisés, qui, dans la section, se montrent comme formés de couches enroulées en spirale ou concentriques; d'où le nom de radicelles concentriques que je leur applique, faute de mieux, dans mes descriptions de sondages. Je ne connais ce genre de radicelles qu'à la base de murs surmontant immédiatement une veine de charbon et gisant au-dessous d'une veine ou veinette supérieure.

Quand on a l'occasion de suivre latéralement une intercalation épaisse qui s'amincit, entre deux veines ou veinettes, au point de ne plus constituer qu'une simple intercalation ou séparation, voici ce que l'on peut observer : tout d'abord il y a un fait, que j'ai déjà signalé ailleurs. Lorsque les veines ou veinettes écartées

se rapprochent, par amincissement de leurs séparations stériles, au point de ne plus former qu'une veine, il est bien rare que la réunion de cette veine ne soit pas plus épaisse, et souvent de beaucoup, que la somme des épaisseurs des veines écartées. Or, si l'on examine chaque veine au point où elles sont écartées, on voit que chacune a son mur plus ou moins typique. Si l'on suit un de ces murs typiques, vers le point de réunion, quand l'intercalation stérile commence à s'amincir fortement, qu'elle n'a plus qu'un mètre, par exemple, le caractère typique du mur s'est fortement atténué, et plus l'amincissement augmente, plus ce caractère du mur disparaît, au point d'être tout à fait absent quand l'intercalation tombe à 0 m. 50 et moins.

Pour l'édification du lecteur, je n'aurai pas besoin de citer d'exemple des nombreuses variétés de nombre, de puissance, de composition lithologique et d'intercalations de veines. Il lui suffira d'examiner, pour la Belgique, les innombrables compositions physiques de veines données par V. Bouhy (**21**) pour le bassin de Mons, par Bidaut (**16**) pour celui de Charleroi, par Jacques (**81**) pour celui de Liége. Pour l'Angleterre, on pourra consulter les nombreux mémoires du *Geological Survey*, où sont décrits les divers bassins houillers des Iles Britanniques. De même, les mémoires des nombreux services géologiques des États-Unis permettront de connaître la composition des couches de charbon des grands bassins de ce pays.

Ces prémisses étant posées, on peut en tirer des conclusions.

Si l'on admet que la présence d'un mur, d'un sol de végétation en place est indispensable pour expliquer la formation d'une couche de charbon, comment expliquer la formation des lits supérieurs plus ou moins nombreux d'une couche complexe, puisqu'en pareil cas, nous venons de le montrer, seul le lit ou couche inférieure possède un vrai mur ?

Où étaient implantés les végétaux, les arbres même, dont l'accumulation des débris, sur place, aurait produit les lits ou veines supérieures? Pas dans les intercalations, puisque, nous venons de le dire, ce ne sont pas des murs. Beaucoup de ces intercalations sont d'ailleurs trop minces pour avoir pu servir à nourrir et à soutenir une végétation capable d'expliquer la formation de lits supérieurs puissants. Est-ce que ces lits ou veines supérieures auraient des caractères différents de ceux du lit inférieur qui, lui, a un vrai mur ? Il y a souvent des différences de tout genre entre les divers lits d'une couche complexe, mais jamais personne n'a essayé de montrer que cette différence était liée à la position du lit dans le complexe de la couche.

Quand il y a des différences systématiques, et il y en a, nous le montrerons plus loin, elles n'ont rien à voir avec la question du mur et elles proviennent de causes tout autres.

On pourrait peut-être se tirer d'affaire en admettant que les lits supérieurs sans mur ont été formés par des végétaux enracinés dans le mur du lit inférieur, lequel a, lui, un vrai mur. Pour admettre cette explication, il faudrait admettre que le dépôt d'une couche continue, pouvant avoir un demi mètre et plus de matière sédimentaire, n'a pas tué la végétation préexistante, celle du lit inférieur. Or, il y a une preuve absolument décisive que cette végétation inférieure, si elle existait, vivante, a été tuée avant ou pendant le dépôt de l'intercalation ou des intercalations superposées : c'est que jamais je n'ai vu et jamais personne n'a vu ou du moins n'a dit avoir vu une plante quelconque de ce mur inférieur traversant l'intercalation. On n'en a jamais vu une seule, et ce n'est pas une seule, ce serait des millions qu'il faudrait voir pour expliquer la formation de puissants lits supérieurs. Mais on objectera sans doute que si nous ne voyons plus de restes de la végétation qui a traversé les intercalations, c'est parce que, après la formation des gisements houillers, les traces de cette végétation auraient disparu.

D'abord, ce serait là une simple affirmation qui, pour avoir quelque valeur, devrait être développée, expliquée et justifiée. Mais il suffit d'examiner de près certaines de ces intercalations pour être sûr que cette explication ne tient pas debout. Il y a beaucoup de ces intercalations qui sont parfaitement régulières, bien stratifiées, et dont la stratification est même soulignée par de minces lits de charbon. Dans cette hypothèse, cette intercalation n'aurait pu se déposer que dans les intervalles entre les arbres d'une forêt plusieurs fois séculaire. Le *Thick coal* du South Staffordshire qui, par places, a 10 mètres d'épaisseur, aurait été produit par le seul mur du lit inférieur. Et après la formation achevée, toutes les particules de ces intercalations se seraient complaisamment stratifiées et arrangées, souterrainement, pour remplir les vides laissés par la disparation des puissants individus de la forêt tropicale. Cela suffit pour juger de la valeur de l'explication.

Le cas signalé plus haut des veines qui s'épaississent en se réunissant n'est pas non plus explicable dans la théorie autochtone. En effet, d'après ce qui se passe là, dans les murs de ces veines, et que nous avons détaillé plus haut, il est tout à fait illogique de voir ces murs bien typiques, lorsqu'ils n'ont contribué qu'à produire une couche mince de charbon, alors que,

là où ils sont surmontés d'une couche plus épaisse, ils sont réduits à de simples intercalations, n'ayant, le plus souvent, pas même les caractères du mur.

Il ne faut évidemment pas qu'il y ait une proportion mathématique entre l'épaisseur d'une veine et celle de son mur, mais tout de même il doit y avoir une certaine relation entre les deux. On s'explique difficilement, dans la théorie autochtone, qu'une couche puissante n'ait qu'un mur insignifiant, alors qu'une veinette minuscule en aurait un très puissant. C'est cependant bien souvent le cas, comme le montrent les coupes de sondage, où l'on peut mesurer exactement la puissance des murs.

Toujours dans le même ordre d'idées, il y a un fait qui a déjà attiré l'attention d'autres observateurs. Il existe dans le terrain houiller de très nombreuses passées. Les mineurs belges appellent ainsi les niveaux où l'on voit du toit reposer directement sur du mur, sans interposition de charbon. Par extension on étend souvent, abusivement, ce nom à un niveau où il n'y a qu'un lit insignifiant de charbon, ou plutôt d'argile charbonneuse. Quoi qu'il en soit, il y a de nombreuses passées vraies, au moins autant que de veines et veinettes. On doit donc en tenir compte, au point de vue théorique surtout. On sait très bien d'ailleurs que beaucoup de passées sont le prolongement latéral de vraies veines. La veine Gros-Pierre, base de l'assise de Charleroi, ne se poursuit pas dans le centre du bassin du Hainaut. Elle s'amincit, puis disparaît, mais bien loin encore on peut suivre, au même niveau, son mur et son toit, sans charbon intercalé. Comment expliquer, dans l'autochtonie, que ces passées aient des murs présentant exactement les mêmes caractères que ceux des veines épaisses? Quand on voit, sous une passée, un mur puissant, et cela arrive souvent, on peut se demander pourquoi la forêt qui prospérait là n'a pas laissé de charbon. Il y a une explication aisée, c'est de dire que ce charbon a été enlevé par érosion. L'explication n'a qu'un tort, mais il est grave, c'est d'être contredite par tous les faits observés.

Certes, il y a eu des érosions durant le Houiller; nous en étudierons plus loin qui sont bien connues, en Angleterre, sous le nom de *Wash-outs*. Personne, en les voyant, ne saurait douter qu'on est là en présence d'érosions ou de ravinements, car on y observe tous les phénomènes caractéristiques de ce genre d'action géologique. Mais précisément, tous ces phénomènes font défaut dans la plupart des passées. En effet, dans celles-ci, la surface du mur présente la même régularité, la même rectitude que chez les murs gisant sous une couche de charbon. Dans les

régions régulières il est facile de voir, dans les carottes de sondage, en Campine par exemple, que le dépôt du toit a suivi la formation du mur, sans arrêt, car ils sont soudés l'un à l'autre comme les autres roches houillères. Tout cela est très visible quand le toit de la passée est du toit ordinaire, c'est-à-dire du schiste fin et feuilleté, roche qui n'accompagne jamais un phénomène de ravinement. Quand il y a des passées dues à un ravinement, et il y en a fréquemment, elles se présentent avec des caractères différents. Le toit de la passée est alors du grès, souvent grossier et épais, possédant à sa base, souvent, un conglomérat. Alors, dans les travaux en roche, où l'on peut voir les passées sur une certaine étendue, on constate que la base du grès a des allures ravinantes, et l'on peut d'autant mieux supposer qu'il y a eu entraînement de charbon d'une veine, que souvent on en retrouve roulé en grains ou même en cailloux dans le grès du toit. Mais aussi ces passées sont le plus souvent inconstantes, car l'érosion a fréquemment enlevé le mur lui-même, anéantissant ainsi toute trace de la passée.

Les passées avec toit de schiste sont bien autrement persistantes.

Il y a, à une faible distance sous la veine Fort d'Orange, une passée très constante. Son toit schisteux est soudé au mur et j'en ai vu de nombreux points, en affleurement sur la citadelle de Namur, ou dans les travaux du charbonnage sous-jacent, sans aucune trace de charbon ni de ravinements. J'ai retrouvé cette même passée, au même niveau et avec les mêmes caractères, à Soye, à 10 kilomètres de là.

Ce que nous venons de dire dans cette sixième observation trouve une confirmation éclatante dans les résultats de l'examen microscopique auquel M. A. Duparque et Mme Defretin ont soumis les intercalations stériles d'une veine en trois lits du charbonnage de Mariemont (**47**). Une de ces intercalations, épaisse de 0 m. 25, est composée de schiste noir fin avec des lits minces de houille brillante. La microphoto que les auteurs en donnent indique une stratification idéale et, comme ils le disent, rappelant les caractères de certains bancs intermédiaires entre des couches et leur toit. L'autre est un schiste escailleux, plus riche en lits brillants de charbon, possédant aussi une superbe stratification, mais qui est affectée de nombreux plissements et failles. A la suite de ces observations, les auteurs insistent sur les analogies frappantes existant entre les houilles et les schistes charbonneux ou bitumineux. Ils en tirent, avec raison, la conclusion capitale que « ces analogies de structure entre les schis-

tes et la houille apportent un argument de plus en faveur de la théorie de la formation de la houille par transport, puisque la formation allochtone des schistes n'est contestée par personne ».

Enfin, l'analyse microscopique n'ayant pas décelé, dans les deux intercalations stériles, la moindre trace de radicelles et leur stratification n'étant pas du tout celle d'un mur (texture du mur), ils en déduisent logiquement que les deux lits supérieurs de cette veine n'ont pas de mur. Comme le charbon de cette veine est du type ligno-cellulosique et qu'il y a des couches de *cannel-coal* et de charbons de cutine qui ne présentent pas de mur, on peut dire que tous les types de charbon peuvent se trouver en veines ne reposant pas sur un mur.

Toutes les intercalations ne sont pas nécessairement identiques à celles que les auteurs ont étudiées, nous l'avons dit plus haut, mais l'aspect macroscopique de la plupart des intercalations minces est si semblable à celui de la veine de Mariemont, que je suis convaincu que l'étude micrographique en donnerait les mêmes résultats. Les veines complexes, à plusieurs lits, étant la majorité, on peut donc dire qu'il y a plus de veines sans mur que d'autres. Et comme ces veines sans mur ont identiquement les mêmes caractères que les autres, on peut en déduire qu'une veine ne doit pas nécessairement avoir un mur et qu'il n'y a, entre les deux, aucun lien d'origine essentiel et indispensable.

7e Observation.

Dans la théorie de la formation sur place on devrait connaître admirablement la végétation du mur et ses conditions d'existence. Cette végétation, en effet, serait en place, n'ayant subi aucun remaniement. De plus, le mur présente des facilités exceptionnelles d'observation, car le coupage des voies se fait souvent dans le mur. Cela étant, n'est-il pas étonnant de voir les divergences qu'il y a entre les partisans de cette théorie sur un point aussi capital que celui de savoir si le mur est un sol de végétation terrestre ou subaqueux? N'est-il pas étonnant de voir combien d'opinions les plus opposées ont été émises sur les *Stigmaria* des murs? Voyez le temps qu'il a fallu pour qu'on sût que ces *Stigmaria* étaient des racines de Sigillaires surtout. L'historique de la question des *Stigmaria* est bien curieux sous ce rapport. Il a été fait plusieurs fois, et celui de Renault est très complet (**117**).

Mais il y a bien plus étonnant que cela : lisez les innombra-

bles descriptions de murs qui ont été données. Invariablement vous y trouverez signalés les *Stigmaria* avec leurs appendices, les radicelles, et rien d'autre. Or on sait maintenant très bien que ces deux débris constituent l'appareil souterrain des Sigillaires. Quelques paléobotanistes ajoutent aussi que ce sont les racines des *Lepidodendron*, mais la chose n'est pas certaine, car je ne pense pas qu'on ait jamais trouvé des *Stigmaria* attachés à des troncs portant des cicatrices foliaires caractéristiques des *Lepidodendron*. Admettons cependant cette opinion. Mais les deux genres *Sigillaria* et *Lepidodendron* ne constituent pas à eux seuls la végétation qui a produit la houille. La flore houillère est très riche, de nombreux groupes et familles y sont représentés. Inutile d'insister, la chose est trop connue. Et il n'y a pas de doute que toutes ces plantes aient contribué à former de la houille, car l'étude des concrétions à structures conservées, dans la houille elle-même, y a retrouvé ces plantes et non pas seulement les deux genres ci-dessus. Tout ce qui concerne les *Stigmaria* est minutieusement détaillé, mais quant aux racines des autres plantes, c'est à peine si l'on en parle, et quand on en parle, c'est pour montrer la diversité des opinions qui ont cours. Nos connaissances sur ces racines en sont encore au stade où elles étaient sur les *Stigmaria* il y a trois quarts de siècle. Pour s'en rendre compte, il suffit de lire ce que Seward (**126**, p. 342) dit des racines des Calamites, une des plantes les plus communes du Houiller. On verra là combien de noms divers ont été appliqués à ces racines avant qu'on sût qu'elles appartenaient au même genre de plantes. Et tout doute n'est pas levé. Les *Pinnularia*, qui, pour beaucoup d'auteurs, seraient des racines d'équisétinées, seraient pour d'autres des racines de fougères *(lato sensu)*. La même incertitude a régné concernant les *Halonia;* considérés jadis par plusieurs auteurs comme des racines de *Lepidodendron*, ils sont maintenant tenus pour des branches (**117**, p. 42). Ce qui explique un peu la confusion que l'on a faite entre les parties aériennes et souterraines des végétaux houillers, c'est que, à l'exception des *Stigmaria* et de leurs appendices radicellaires, toutes les autres racines ne se rencontreront jamais là où elles devraient être, dans l'hypothèse de la formation sur place, dans le mur, mais bien dans le toit des veines [1].

L'auteur qui nous a le plus appris sur les racines des plantes

---

[1] R. P. G. Schmitz a fait remarquer que parmi toutes les racines des plantes houillères, seuls les *Stigmaria* se rencontraient dans les murs, et le premier il a montré que certaines racines, les *Pinnularia*, au lieu de se trouver dans le mur, se trouvaient dans le toit (**123**, p. 34).

houillères est Grand'Eury, qui en a figuré un grand nombre. Le fait est d'autant plus intéressant qu'il prouve que les racines autres que les *Stigmaria* peuvent se conserver dans les terrains houillers et rendent d'autant plus inexplicable leur absence dans le mur des couches des bassins que nous étudions. Les découvertes de Grand'Eury, ayant été faites dans les bassins limniques du Centre de la France, ne peuvent être utilisées pour élucider le mode de formation de nos bassins. Nous en reparlerons d'ailleurs lorsque nous étudierons les troncs-debout et souches.

La forêt houillère des autochtonistes est donc une forêt des plus étranges. Les espèces les plus nombreuses qui la peuplent n'ont pas leurs racines sous elles, mais au-dessus.

Dans la théorie de la formation par transport, cette anomalie impossible s'explique aisément. Dans les forêts en place, croissant sur des sols continentaux, les plantes houillères avaient leurs racines dans le sol, comme cela doit être. L'érosion, en les arrachant de leur sol natal, a déchiqueté toutes les parties de ces plantes, et la rareté des plantes avec racines attachées s'explique aisément, dans cette hypothèse. La première chose que fait le cyclone, c'est de briser souvent au ras du sol les tiges et les troncs, et de les emporter. La racine enfoncée dans le sol se laisse plus difficilement entraîner. Le vent, si violent soit-il, est impuissant. Il faut l'arrivée de pluies torrentielles qui accompagnent les cyclones, pour labourer le sol, déchausser les racines et les entraîner au loin.

Toutes les parties végétales se retrouvent dans la grande cuvette où va se faire la précipitation; mais, comme nous l'avons dit, c'est une précipitation fractionnée. Les racines des Sigillaires et des *Lepidodendron*, les *Stigmaria*, gagnent les premières le fond. En effet, ce sont les racines des individus les plus géants de la forêt. Pour soutenir ces géants, il faut des racines coriaces, résistantes, à tissu serré et dense, que la longévité de ces arbres contribue encore à fortifier et à durcir.

Les radicelles sont d'ailleurs très simples, rarement bifurquées même, et volumineuses, toutes conditions favorables à une sédimentation prompte. Au contraire, les autres racines et surtout les radicelles, sont fines et déliées chez les Calamites, et les *Pinnularia* forment un véritable chevelu. On comprend que ce genre d'appareil souterrain ait résisté plus longtemps au plongeon et qu'il ait attendu pour cela, de le faire en même temps que les parties aériennes, c'est-à-dire lors de la formation du toit, où on les trouve d'ailleurs mêlées à des radicelles de *Stig-*

maria flottées, ayant échappé à la première phase de précipitation. L'étude des nodules ou *coal-balls* montre que les *Stigmaria* sont aussi fréquents dans la houille elle-même [1], et leur présence n'y est pas plus étonnante que dans les murs et les toits, puisque mur, couche et toit sont des formations sédimentaires où les débris végétaux ont été incorporés par sédimentation.

Pour finir, nous ajouterons que les partisans de l'autochtonie, pour justifier le petit nombre de types de racines et de radicelles trouvées dans le Houiller, expliquent cela par l'uniformité des conditions du milieu aquatique où se développent les racines. Il est certain que ce milieu est plus uniforme que le milieu aérien; mais cela ne va pas jusqu'à faire croire que la racine d'une fougère herbacée ou d'un *Sphenophyllum* devrait être semblable à celle d'un Sigillaire arborescent. Le fait de vivre côte à côte, dans le même sol, n'empêche pas les plantes actuelles de présenter des types de racines aussi différentes que les racines bulbeuses, pivotantes, tuberculeuses, chevelues, traçantes, etc. Le petit nombre de types de racines houillères provient beaucoup plus vraisemblablement du fait que beaucoup de ces types, frêles et herbacés, n'ont pas résisté à la destruction lors de leur érosion ou pendant leur flottaison.

8e Observation.

Lorsqu'on dit que toute couche de charbon repose sur un mur, on semble laisser croire que ce mur est quelque chose d'extrêmement homogène et de très constant dans ses caractères lithologiques et biologiques. Il n'en est rien. Le seul caractère qui soit réellement constant, c'est la présence de radicelles de *Stigmaria*. Ce caractère-là est si constant, qu'on peut dire que là où il n'y a pas de radicelles, il n'y a pas de mur. Mais la réciproque n'est pas vraie, en ce sens que l'on ne peut pas dire que là où il y a des radicelles il y a un mur. Il y a longtemps que les mineurs savent cela, au point qu'en Belgique, du moins, ils ont créé le terme de faux-mur pour désigner une roche que l'on pourrait prendre pour du mur.

Par ordre d'importance, le caractère du mur qui vient ensuite est la texture, dite texture de mur. Mais, comme nous l'avons déjà dit, cette texture n'est pas non plus l'apanage exclusif de

---

[1] Prestwich a décrit des axes de *Stigmaria* avec leurs radicelles, couchés à plat entre les lits de charbon d'une veine et remplis de grès (**107**).

la roche située sous une couche de combustible. Enfin, il y a un troisième caractère, très aisé à découvrir et très utile pour déceler la présence d'un mur. Contrairement à ce que l'on pourrait croire, il est des cas où la distinction du mur et du toit est extrêmement difficile. Des toits broyés par des phénomènes tectoniques prennent la texture du mur et les stries de glissement dont tous les joints sont couverts simulent à s'y méprendre des radicelles. Et cependant, il y a un intérêt capital à pouvoir dire si la couche est en plateure, c'est-à-dire dans sa position originelle, avec mur au-dessous, ou si elle est en dressant renversé, avec mur au-dessus. Dans ce cas, ce troisième caractère vient bien à point, car les dérangements ne l'oblitèrent pas.

Il y a, au voisinage des couches de charbon, de nombreux échantillons de sidérose ou carbonate de fer des houillères (sphérosidérite). Cette sidérose se présente de façon bien différente dans le toit et le mur.

Dans le toit, la sidérose est en lits plus ou moins épais, souvent d'une régularité parfaite, interstratifiés dans du schiste plus ou moins imprégné de la même matière. Ces lits peuvent devenir lenticulaires, noduleux, et l'on passe alors graduellement à des cordons de nodules, puis à des nodules de plus en plus isolés. Ces nodules, ou lits lenticulaires, sont toujours discoïdes, souvent de forme très régulière, et leur grand axe est parallèle à la stratification.

Dans le mur, en Belgique, il est bien rare de voir la sidérose en lits continus et surtout en lits réguliers, comme on le voit en Angleterre, par exemple. Mais la sidérose y est très abondante, sous forme de nodules, aisés à distinguer de ceux du toit, par leurs formes irrégulières au possible et des plus variées. Ces nodules peuvent devenir énormes. J'en ai vu pesant des centaines de kilos, et alors ils prennent les caractères de *septaria*, avec géodes cristallines remplies de substances diverses.

Comme nous le dirons plus loin, dans certains murs on trouve communément de la sidérose à texture oolithique.

A part ces trois caractères, les murs présentent la plus grande variété aux divers points de vue suivants :

A. *La roche des murs.* — On a dit que les *Stigmaria* ne prospéraient que dans les sols argileux compacts [1]. Cela n'est pas

---

[1] Plusieurs auteurs, trompés sans doute par l'appellation anglaise des murs : « underclay », ont prétendu que les murs étaient toujours argileux. R. P. G. Schmitz a déjà refuté cette opinion, émise par Potonié notamment (**123**, p. 34).

exact, car il y a des radicelles dans les roches les plus diverses. La plus typique et la plus fréquente est du schiste psammitique. C'est là que les radicelles sont le plus visibles, le mieux conservées, ainsi que les *Stigmaria*. Les radicelles y sont bien nettement transversales. Par disparition progressive de l'élément sableux on passe à des schistes de plus en plus argileux et l'on finit par voir des murs formés d'une argile durcie, grasse et onctueuse, riche en silicate d'alumine. C'est le correspondant exact des argiles utilisées en Angleterre, en beaucoup d'endroits et notamment dans le Staffordshire, qui porte, à cause de cela, le nom de *the potteries-coalfield*. Ce sont des murs altérés, purifiés par le passage des eaux météoriques, et qui sont des affleurements de murs de veines. On les retrouve d'ailleurs à côté, en profondeur et inaltérés, dans les charbonnages voisins.

Par disparition progressive de l'élément argileux, on passe à du mur constitué par du psammite, puis par du grès parfois absolument pur et vitreux, qui est plutôt un grès-quartzite, comme l'a défini M. L. Cayeux. Dans ce cas, les radicelles sont très rares et se présentent souvent, non pas sous forme de ruban plus ou moins tordu, comme dans le mur typique, mais en cylindres irréguliers un peu aplatis et à surface un peu charbonneuse, ce qui est aussi le cas pour les *Stigmaria*, proportionnellement plus abondants que dans les murs types, mais toujours mal conservés. La Veine Gros-Pierre, dans beaucoup de charbonnages de la Basse-Sambre, se présente ainsi reposant directement sur un grès très dur et très pur. Dans les assises inférieures du Houiller de Belgique et d'Angleterre, beaucoup de couches ont leur mur constitué en tout ou en partie par du gannister, sorte de vrai quartzite à radicelles rares et de mêmes caractères que celles des grès.

A ma connaissance, aucune étude pétrographique de cette roche n'a été faite.

Elle peut avoir deux ou trois mètres d'épaisseur et forme alors seule le mur. Elle peut passer inférieurement à du grès, puis à du psammite et enfin à du vrai mur, le nombre des radicelles allant en augmentant corrélativement. Parfois le banc de gannister est intercalé dans du mur, toujours psammitique alors, à des distances variables de la couche de charbon. Quand le gannister est directement sous le charbon, cas le plus habituel, il n'est pas rare de voir la roche envoyer des digitations dans le charbon, qui renferme même de nombreux nodules de cette roche. La veine du Calvaire, à Spy, et la veine dite « à cloux » de la Basse-Sambre sont souvent dans ce cas. On trouvera des

exemples de ces divers murs dans les ouvrages que j'ai publiés sur la stratigraphie de divers bassins houillers belges et dans les coupes de sondages.

B. *Texture des murs.* — Comme nous l'avons déjà dit, l'absence de feuilletage, une texture compacte, une cassure irrégulière et quelconque, tout cela caractérise bien le mur typique, mais est loin d'être le cas général. Il y a de nombreuses exceptions auxquelles les mineurs appliquent volontiers le nom de faux-murs. Son type le plus habituel, très commun d'ailleurs, est constitué par une roche argileuse, tendre, bourrée de matières charbonneuses, représentées en partie par des débris végétaux informes. On y observe, en plus, des lits plus ou moins épais de charbon. L'épaisseur ordinairement assez faible de cette roche, quelques centimètres, peut monter au-delà, atteindre des décimètres, voire davantage. Elle établit alors, entre le mur qui est au-dessous et la couche au-dessus une telle transition, qu'il est impossible de tracer une limite entre la couche et son mur. Il est très fréquent de rencontrer, au beau milieu du mur, quand il est très épais, une ou plusieurs intercalations de ces faux-murs. On les appelle alors des passées de murs et elles peuvent être si habituelles, qu'elles servent de diagnostic au mineur pour reconnaître certaines veines. Au voisinage de ces passées de mur, le mur est d'habitude plus schisteux, plus feuilleté, surtout au-dessus, et quand la passée est très charbonneuse. Il y a alors tendance à la formation d'un toit pour cette passée. Jamais on ne voit, dans ces passées, ni une radicelle, ni un *Stigmaria*, ni une souche transversale. Tout est couché, suivant la stratification, comme dans tout dépôt sédimentaire. Il n'est pas rare de voir, à la base de certaines couches, un peu schisteuses vers le bas, de grandes empreintes transformées en charbon brillant, de Sigillaires, de Calamites ou de Lépidodendrons reconnaissables génériquement. Elles sont étalées à plat et, comme d'autres auteurs l'ont fait observer avant moi, ces empreintes montrent qu'il n'y a eu aucune communication des racines du mur avec la couche.

C. *Coloration des murs.* — D'après les deux matières qui constituent la roche des murs ordinaires, le quartz et le kaolin, les murs devraient être blancs, s'ils ne renfermaient pas de matières étrangères. Ces matières sont le mica et la chlorite, qui colorent les murs en vert, le carbone qui les colore en gris ou noir, enfin le fer, le plus souvent à l'état de carbonate ou d'hydrate, dont les teintes sont grises ou rougeâtres.

Il est bien curieux qu'on ait souvent essayé de tirer de ces colorations, des preuves en faveur de la théorie autochtone. Cela prouve avec quelle facilité certains partisans de cette théorie se contentaient de preuves insignifiantes ou inexistantes, alors que le problème est si complexe. Cela a été si loin, que des auteurs ont accepté, comme preuve, une particularité de coloration, ignorant sans doute que d'autres, avant eux, avaient tiré la même conclusion d'un fait exactement opposé. Cette absence de logique n'a rien d'étonnant quand on voit que ces prétendues preuves reposaient sur de pures affirmations. J'ai déjà traité cette question plus en détail ailleurs (**148**). Je me bornerai donc à résumer ici ce que j'ai dit alors.

La coloration des murs n'a rien à voir avec le mode de formation du mur. La présence des matières étrangères colorantes peut s'expliquer aussi aisément dans une théorie que dans l'autre. Dans toute l'échelle stratigraphique on rencontre toutes les teintes possibles, aussi bien dans les terrains continentaux, formés sur place, que dans les terrains marins transportés. Dans le Houiller, il saute aux yeux que la matière colorante qui domine et masque toutes les autres, c'est le carbone provenant de la décomposition de matières végétales. C'est la proportion de ce carbone qui règle la coloration de la roche, dans une théorie comme dans l'autre. Inutile, je crois, d'insister. Quant aux phénomènes de décoloration observés dans certaines tourbières actuelles et dont d'aucuns ont voulu trouver l'équivalent dans la teinte pâle de certains murs, ils n'ont pas du tout la signification ni la valeur probante qu'on a voulu leur attribuer. Observons d'abord que lorsqu'il s'agit de murs blanchis ou décolorés, en affleurement, la décoloration est moderne, due aux eaux pluviales, et provient de ce que le mur, à texture grossière et quelconque, traversé de radicelles, offre aux eaux un passage plus facile que le toit. Qui n'a vu, dans les affleurements houillers, le toit argileux, feuilleté, conserver parfaitement sa couleur noir intense, sur un mur décoloré ?

Il est inexact de dire que le sol des tourbières est toujours blanchi et décoloré par la végétation en place de la tourbière. Il y a des sols de tourbières décolorés et il y en a d'autres qui ne le sont pas. Les premiers sont ceux où le sous-sol perméable est, de plus, dans des conditions telles que les matières colorantes, le plus souvent des acides organiques (acide humique, ulmique), ont pu être entraînées au loin, grâce à la perméabilité et à ces conditions spéciales de gisement. Si le sol est imperméable et si l'eau ne peut s'évacuer, le sol restera gorgé

de matières charbonneuses et sera plus noir que le sous-sol de la tourbière. De même, dans l'hypothèse d'un transport, les murs seront plus ou moins foncés et plus ou moins charbonneux, suivant qu'ils auront, durant leur dépôt, contenu plus ou moins de matières végétales. Et voilà pourquoi, dans une hypothèse comme dans l'autre, il peut y avoir des murs plus ou moins charbonneux, ce qui est précisément le cas.

La preuve la plus évidente que les murs n'ont pas été décolorés et blanchis, ni par les eaux ni par les racines provenant de la couche, c'est que, s'il en était ainsi, la décoloration devrait être au maximum directement sous la couche et aller en diminuant en descendant. Ce cas se présente, mais le contraire est au moins aussi fréquent. Chaque fois qu'il y a sous la couche un faux-mur, celui-ci, neuf fois sur dix, est d'un noir intense, contrastant avec la teinte claire, bistre, de certains murs, en-dessous de ce faux-mur. Ce qui est non moins probant, c'est que, dans certains murs, on trouve des bancs très pâles alternant avec des bancs très foncés.

Mais alors que certains auteurs ont invoqué, en faveur de l'autochtonie, la teinte pâle décolorée des murs, il s'est trouvé un savant, E. W. Binney, qui a considéré la teinte foncée des murs en faveur de la même idée. Il y a en effet plus de murs noirs que de murs blancs, et comme il y a encore plus de murs gris, nous ne devons pas désespérer de voir un jour un autre auteur, aussi ignorant des opinions émises avant lui sur cette question, considérer cette teinte grise comme une nouvelle preuve.

Binney suppose que la teinte foncée des murs est due au carbone mis en liberté par la décomposition des radicelles, oubliant sans doute que, dans l'hypothèse allochtone, les radicelles, en se décomposant, produiraient le même phénomène. Sa preuve ne prouve donc rien.

Je profite de l'occasion pour rectifier une opinion étrange que j'ai prêtée jadis (**148**, p. 90) à Binney. M'autorisant de l'erreur que commettent tous les dictionnaires anglais-français que j'ai consultés, j'avais cru que Binney accordait au mot *discolor* la signification du mot français « décolorer ». On m'a fait remarquer, avec raison, que le mot anglais a une signification beaucoup plus large, et qu'il peut même signifier le contraire, c'est-à-dire colorer en noir une roche pâle. L'opinion de Binney n'a plus alors ce qu'elle aurait eu d'étrange, mais, comme nous venons de le montrer, elle n'a pas de valeur probante.

Reste maintenant la question de la présence de fer dans les murs. Nous y observons encore le même phénomène que dans le cas précédent. On invoque, à tort d'ailleurs, l'absence de fer dans les murs comme un argument en faveur de la théorie autochtone. Quand on montre qu'il y a du fer dans les murs, la théorie reste vraie quand même!

J'ai déjà traité cette question ailleurs (**148**). Dans ce travail j'ai rappelé que F.-L. Cornet avait prétendu, sans d'ailleurs citer le moindre fait, que les murs ne renfermaient pas de fer, contrairement aux toits. Il expliquait le fait en disant que les plantes houillères avaient la propriété d'extraire le fer du sol. J'ai répliqué en disant que, même en admettant le fait, il serait sans valeur dans la théorie autochtone, puisque le fer extrait du mur devait, dans cette théorie, rester sur place ou retourner dans le mur, puisque c'est du fer soluble. J'ai ajouté que le fait signalé par F.-L. Cornet était inexact et qu'il s'était basé sur des cas exceptionnels. J'ai montré que la présence de fer dans les murs était évidente, vu le nombre de murs où l'on peut constater la présence de nombreux nodules de sphérosidérite. Par calcination, la plupart des murs deviennent rouges comme les toits. M. J. Cornet, fils de F.-L. Cornet, a voulu défendre l'idée émise par son père, et pour cela il a chargé un de ses élèves d'analyser des toits et des murs provenant de deux sondages, celui de Waudrez et celui d'Harmignies (n° 10 et n° 5). De plus, cet élève a analysé de nombreux échantillons des mêmes roches provenant de travaux miniers. Ce travail, dû à M. Karapétian (**84**), constitue une très importante contribution à la matière. On s'est empressé d'en tirer des conclusions favorables à la théorie autochtone. M. Karapétian, plus prudent, avec raison, s'est abstenu de tirer de son travail des conclusions géogéniques. En effet, le travail est incomplet, et d'ailleurs il n'autorise pas des conclusions aussi simplistes et aussi promptes, comme nous allons essayer de le démontrer.

Tout d'abord, l'auteur, par ses analyses, a fait justice de l'assertion de F.-L. Cornet que les murs ne renferment pas de fer. Sur les 54 murs analysés, tous en renferment. La teneur varie de 0,28 à 7,84 %.

38	murs ont plus de	2 %	de fer.
26	—	3 %	—
16	—	4 %	—
10	—	5 %	—
7	—	6 %	—
2	—	7 %	—

Le teneur en fer des toits est plus forte; les analyses le montrent, mais néanmoins le fait n'est pas absolu, puisque dans six cas c'est le mur qui est le plus riche; mais l'excédent est faible, au maximum 0,84 %.

En moyenne, le toit renferme deux fois plus de fer que le mur. Mais conclure de là, comme d'aucuns l'ont fait, que l'excédent de fer des toits a été extrait du mur par des plantes vivant sur place, c'est aller bien vite en besogne, comme il est facile de le montrer.

Il faudrait d'abord commencer par prouver qu'avant le développement de la végétation houillère, les murs contenaient tout le fer qu'on observe dans les toits, car dans ce cas-là seulement on pourrait invoquer l'intervention des plantes pour enrichir le toit en fer, et alors il resterait encore à expliquer la raison de cette richesse du mur en fer. En effet, si l'on admettait qu'à l'origine le toit était ferrugineux, comme le mur, mais moins, comment prouver que les teneurs n'étaient pas les mêmes que maintenant, et qu'est-ce que la théorie de la formation de la houille a à voir avec la teneur des roches en fer? L'origine de ce fer peut être recherchée dans trois directions. Ou bien les roches étaient ferrugineuses avant leur sédimentation, ou bien le fer a été amené dans les roches par l'eau, durant la sédimentation, ou il provient de l'apport de plantes ferrugineuses. Nous ne possédons actuellement aucune donnée pour résoudre tous ces problèmes, sans la solution desquels la conclusion de F.-L. Cornet est purement gratuite. La différence de teneurs entre divers toits et, d'autre part, entre différents murs est beaucoup plus forte que la différence entre les toits et les murs. Comment expliquer cela par l'action de plantes vivantes? Dans la théorie de la formation de la houille par sédimentation, la différence de teneur en fer de toutes les roches houillères s'explique aussi facilement que la richesse en fer des gîtes sédimentaires de fer (minettes, hématites oolithiques, etc.). Ce sont des apports divers d'eaux chargées de fer ou c'est la faculté de rétention diverse des roches qui provoquent les différences en teneur de fer.

Car, il ne faut pas l'oublier, il y a du fer dans toute l'épaisseur du Houiller. Les bancs les plus ferrugineux ne sont pas toujours au voisinage des couches. Il y a eu, en pleine stampe stérile, des bancs assez riches pour être exploitées comme minerai de fer. Les sphérosidérites se rencontrent dans toutes les roches houillères, mais de préférence dans les schistes, et, pour moi, la richesse des toits en fer est uniquement due, si on la compare avec celle des murs, au fait que les toits sont toujours, à

de rares exceptions près, constitués par des roches plus fines et plus argileuses que les murs.

Il est d'ailleurs bien d'autres remarques que l'on pourrait faire sur le travail de M. Karapétian. Ses analyses n'ont pas été assez systématiques. Pourquoi avoir fait les prises d'échantillons à des distances si diverses des veines? Quand on a vu beaucoup de murs on sait très bien que, dans un même mur, la teneur peut varier énormément. La proportion des sphérosidérites et le volume de celles-ci suffisent à le montrer. Il y a, dans certains murs, des bancs presque massifs ou des nodules énormes de sidérite. On les a exploités (1) et il suffit de voir les nombreuses coupes de gisements de fer du Houiller d'Angleterre pour s'en rendre compte. En faisant les analyses dans ces bancs ou à ces niveaux, on obtiendrait des résultats complètement différents de ceux de M. Karapétian. Je ne suis pas assez bien outillé pour faire des analyses que M. Karapétian a pu faire, grâce aux belles installations du laboratoire de M. J. Cornet; sans cela, rien ne me serait plus facile, à en juger d'après l'aspect des échantillons, que de publier, comme conclusives, des centaines d'analyses différentes de celles de M. Karapétian.

Il est un genre d'analyses que M. Karapétian aurait dû faire pour vérifier la thèse de F.-L. Cornet. Dans beaucoup de murs, le nombre de radicelles va en diminuant en s'éloignant de la couche. Si ce sont ces radicelles qui ont extrait le fer du mur, la teneur en fer devrait diminuer progressivement en approchant de la veine. Il eût été bien instructif de faire des analyses pour savoir à quoi s'en tenir. De l'autre côté de la veine, dans le toit, logiquement, la teneur en fer devrait augmenter en se rapprochant de la veine, puisque c'est presque toujours là que se seraient déposés les végétaux qui, d'après Cornet, auraient

---

(1) D'après Hull et Green (**77**, p. 32), la couche Wimpenny repose directement sur un banc d'*ironstone*. Les mêmes donnent des analyses de l'*underclay* située sous la célèbre couche *Better bed* du Yorkshire. On y voit des teneurs en oxyde de fer de 6,8-8-3,34-2,12-24 %. Ces chiffres, pour un même mur, montrent bien la vérité de ce que je dis plus haut (**78**, p. 132). Dans le Houiller du Maryland, la couche *Little montell* repose directement sur une couche de 2 m. 40 de minerai de fer exploité depuis longtemps. (**165**, p. 48). Un géologue anglais, De Rance, citant une analyse d'*underclay* avec 4,73 % de protoxyde de fer, se livre à toutes sortes de considérations sur le mode de formation de la houille, parmi lesquelles on n'est pas peu étonné de voir qu'il considère la forte teneur en fer des *underclays* comme une preuve de la formation sur place (**43**). Avais-je tort de dire que pour les partisans de la formation sur place, les preuves sont tirées des faits les plus contradictoires?

extrait le fer du mur. A défaut de ces analyses systématiques, nous allons voir ce que les analyses de M. Karapétian peuvent nous indiquer à ce sujet.

Comme ses prises d'échantillons ont été faites, pour les divers murs, à des distances différentes de la veine, que disent les analyses des murs prélevés le plus près des veines? Il y a deux prises seulement juste sous la veine : Veine Payez (Produits du Flénu) = 4,20 % de fer; Veine n° 4 (Puits n° 10 de Grisœil) = 3,42 %. Une seule autre prise, à 0 m. 20 de la veine, a donné : Veine aux Laies (Mariemont) = 7,84 %. Ce ne sont pas là du tout des teneurs faibles, bien loin de là; la dernière est la plus forte de tous les murs étudiés. Mais il y a un cas plus instructif : on a fait trois prises d'échantillons au mur de la même Veine Soumillarde (Hornu et Wasmes), dont deux au même étage. L'une donne, à 0 m. 20 de la veine, 2,24 %, l'autre, à 0 m. 30, 2,24 %, et la troisième, au même étage que la précédente, mais à 1 m., 2,38 %.

Ces trois analyses dénotent une uniformité de composition qui plaide contre la théorie de Cornet. Il en est de même du toit de la même veine, car à 0 m. 20, il donne 3,08 %, à 0 m. 30, 2,80 % et à 1 m., 7,28 %. Ici, c'est juste le contraire de la théorie.

Il y a encore une autre observation à faire à l'appui de ce que j'ai dit, que la teneur en fer est originelle dans les roches houillères et n'a rien à voir avec la vie des plantes. C'est qu'il y a des facteurs locaux qui influencent la teneur en fer, et l'on ne voit pas très bien ce que les plantes auraient pu faire à ce sujet. Ainsi, au sondage d'Harmignies, sur douze veines, l'excédent du toit n'est que de 1,07 % (3,09 — 2,02). La proportion n'est pas du tout celle du simple au double. Au sondage de Waudrez, l'excédent, pour cinq veines, est de 1,90 % (4,14 — 2,24).

Dans les échantillons prélevés dans les travaux, l'excédent monte à 3,28 % (7,11 — 3,83) [1]. Ces chiffres sont des moyennes. Il y a évidemment des facteurs locaux qui ont fait varier la composition en fer des roches, dans diverses régions des bassins houillers, comme elles l'ont fait varier dans le Famennien, le Jurassique, etc. Sans cela, comment expliquer pourquoi la couche Naisson des Produits du Flénu n'a que 0,48 % de fer dans son toit et 0,24 % dans son mur, alors que la couche Payez, au même charbonnage, et dans la même assise, a 15,96 % de fer dans son toit et 4,20 % dans son mur.

---

[1] Je corrige les chiffres de l'auteur, car c'est 37 et non 38 analyses qui ont été faites par lui.

Mais il y a une dernière observation à faire, et elle est capitale. Cornet père et fils ont complètement perdu de vue que, dans leur hypothèse, suivant la théorie de la formation sur place, ce n'est pas dans le toit qu'il faudrait rechercher le fer extrait du mur par les plantes, c'est dans la couche elle-même. Les analyses de M. Karapétian ne riment donc à rien. En effet, il y a bien peu de géologues qui admettent que le toit renferme des végétaux ayant vécu là où on les trouve et dont les racines se trouveraient dans le mur sous-jacent. Ce que l'on sait de la teneur en fer des charbons, comparativement à celle de beaucoup de murs cités par Karapétian, ne plaide guère en faveur de la théorie; mais pour être tranquille, il faudra attendre des analyses systématiques. En tous cas, il y a un point sur lequel on peut déjà faire des déductions. Si ce sont les végétaux de la couche qui ont extrait le fer du mur, il est logique que les couches puissantes, ayant demandé plus longtemps pour se former, auront pu extraire plus de fer du mur que chez les couches minces. Malheureusement, M. Karapétian n'a pas donné le renseignement si précieux de la puissance des couches sur lesquelles il a opéré. Ce renseignement eût été bien plus instructif que celui qu'il donne du volume des prises d'échantillons. Logiquement, ceux-ci auraient dû être du même volume.

Mais on peut essayer partiellement de suppléer à son silence sur ce point, car la coupe des deux sondages dressée par M. Karapétian, sous la direction de M. J. Cornet (**83**), a été publiée. Pour la coupe du sondage de Waudrez, on constate avec surprise que des neuf veines ou veinettes recoupées par le sondage, aucune n'a été étudiée. Les analyses ont porté sur des niveaux où il n'y a pas de charbon, mais seulement des passées, donc toit sur mur. Impossible donc d'utiliser les analyses pour ce but spécial. Mais l'étude de la coupe révèle des faits déconcertants. Le mur renseigné à 610 m. n'aurait que 0 m. 80 d'épaisseur et il serait compris entre deux bancs à abondante faune marine. Comme on est à 3 m. sous le poudingue houiller, ce serait le niveau de la Veine Sainte-Anne de Spy. Est-ce que réellement les auteurs ont pu s'imaginer que le fer (4,76 %) contenu dans un toit signalé comme pétri de *Productus* pouvait provenir de l'action des radicelles sur du mur géologiquement sous-jacent? Il est bien regrettable qu'ils ne nous aient pas expliqué le mécanisme de cette curieuse opération. Les analyses de ce niveau, qui accusent un excédent de fer de 3 % dans le toit, sont évidemment sans portée.

Fait plus étrange encore : alors que dans ses analyses M. Kara-

pétian renseigne du toit à 807 m., la coupe renseigne manifestement du mur. Et inversement. Et alors qu'à 810 m., il renseigne du mur, la coupe indique nettement du toit. Mais dans ce cas, il faut intervertir les teneurs en fer, qui deviennent pour le mur, à 807 m., 5,04 %, et pour le toit, à 810 m., 3,08 %. Pour une belle exception à la théorie de Cornet, en voilà une.

Les analyses faites sur douze niveaux du sondage d'Harmignies appellent des réserves non moins formelles. Elles portent toutes sur des passées, sans charbon, alors que le sondage a recoupé deux veines, dont l'une avec toit et mur bien marqués. Or, dans des échantillons de sondage très dérangé, il est bien difficile, pour un élève, de dire où est la passée; en d'autres mots, de dire si l'on est en plateure ou en dressant renversé. L'examen attentif de la coupe (**83**, p. 467) et du tableau (**84**, p. 322) montre que des erreurs ont été commises. Et, naturellement, elles renversent les déductions que l'auteur a tirées.

D'après la coupe, l'auteur place une passée entre le mur de 682 m. 50 et le toit de 689 m. La coupe ne permet guère de le supposer, et depuis le sommet du Houiller jusqu'à cette profondeur, la coupe renseigne le plus étrange mélange de toit et de mur concevable, mélange sur lequel l'auteur lui-même attire l'attention. Les changements continuels d'inclinaison indiquent d'ailleurs des terrains très dérangés. Ce n'était pas là un point où l'on pouvait prendre des échantillons incontestables. Il en est de même de l'échantillon de mur prélevé à 704 m., dans un niveau que l'auteur qualifie lui-même de schiste de toit et de mur réunis ensemble. Quoiqu'il renferme de nombreuses concrétions sidéritifères, il ne titre que 0,95 % de fer. L'échantillon prélevé à 806 m. et qualifié de toit a été pris dans un banc de 0 m. 50 incliné à 35° et compris entre deux niveaux épais de mur. Ce n'est donc pas un vrai toit. L'auteur compare, pour la teneur en fer, des échantillons provenant de 837 m. (mur) avec d'autres prélevés à 839 m. (toit). On serait donc en dressant renversé. Or, ce banc de toit n'a que 1 m. 40 et au-dessous, à 839 m., commence un autre banc de mur épais. Comme la coupe indique nettement que dans cette partie du sondage on est en plateure, c'est avec le mur inférieur que la comparaison aurait dû être faite.

Le cas suivant est encore plus étrange. Dans le tableau d'analyses, l'échantillon de 889 m. 75, renseigné comme mur, est renseigné comme toit dans la coupe, ce qui est exact. D'après la coupe, on est manifestement en plateure. Le mur qui vient au-dessous n'a pas été analysé, alors que, pour faire la compa-

raison, c'est lui qui aurait dû l'être et non pas un autre banc de toit, à 891 m. 45, situé sous ce mur épais et au-dessus d'un grès. Ce n'est donc pas un toit. Les échantillons du tableau d'analyses renseignés, l'un à 936 m. 95 comme mur et l'autre à 937 m. comme toit, sont rangés tous deux, dans la coupe, dans le même niveau, comme mur.

Les échantillons du tableau provenant de 945 m., 945 m. 20 et 945 m. 60, indiqués comme du toit entre deux murs, dans la coupe, sont classés sous la même rubrique de mur. Un très mince banc de schiste entre deux murs, sans plissement, ne serait d'ailleurs pas du vrai toit et n'aurait pas dû être utilisé. Les échantillons de 970 m. 60 et 971 m. du tableau : mur et toit, figurent dans la coupe dans un niveau épais de 22 m. 20, où l'on ne renseigne ni mur ni toit. L'échantillon de 1010 m., qualifié toit, a été prélevé dans un banc de schiste de 1 m. 50 intercalé dans une puissante alternance de schiste et de mur qui forme le mur de la couche de 1027 m. 44, en dressant renversé. Ce n'est donc pas un vrai toit.

Après cela, que reste-t-il des analyses des échantillons de ces deux sondages? Evidemment rien, et la crainte que les résultats des autres prises d'échantillons faites dans les travaux miniers ne soient aussi faussées par les mêmes causes d'inexpérience. Les descriptions données de certains murs n'indiquent pas des murs, et ces échantillons auraient donc dû être laissés de côté. Voyez, par exemple, le mur de la Veine Soumillarde au puits Vedette (et non Wedette, comme le dit l'auteur); d'après la description ce n'est pas du mur. Le mur de Belle-et-Bonne à Hornu et Wasmes, d'après la description, est du toit. Le mur de Carlier aux Produits est un mur bien rudimentaire. Le mur de la 8e plateure au puits de Grisœil n° 10 est une roche quelconque. Et cependant, il y a des milliers d'endroits où l'auteur pouvait prélever des murs et des toits les plus typiques.

Je me suis étendu longuement sur l'examen critique du travail de M. Karapétian, parce qu'on s'est empressé d'en tirer des conclusions favorables à la théorie autochtone. On voit qu'on n'est pas difficile, dans ces conditions, sur la valeur des preuves. Ce n'est pas parce qu'un travail est mis sous une forme en quelque sorte mathématique, qu'il doit être accepté sans contrôle.

Dawson s'est aussi occupé de la question du fer dans les murs, et il y a aussi trouvé une preuve en faveur de l'autochtonie, mais par un chemin très différent de celui qu'a suivi F.-L. Cornet. Il admet (**34**, p. 14) que les murs ont un aspect

blanchi, par suite de la disparition des matières ferrugineuses, non pas parce que ces matières auraient été enlevées par des radicelles, mais bien par l'action dissolvante ou désoxydante des eaux chargées d'acides organiques, par suite de leur passage à travers les matières végétales en décomposition. Il compare ce fait à celui de la décoloration que l'on observe sous les marais actuels. Pour être logique, ce départ du fer par le bas (pour Cornet il partait par le haut) ne peut avoir lieu que si la tourbière, ou la couche de houille en formation, a émergé assez pour que les eaux pluviales aient pu produire cette filtration. Cette considération n'arrête pas Dawson (**37**, p. 241), qui était partisan de l'autochtonie, mais sur des sols continentaux non aquatiques, émergés. J'ai déjà ailleurs réfuté l'idée de Dawson (**148**, p. 76). J'ajouterai ici que Dawson a fait une étrange confusion. Si les sols de marais ou swamps actuels sont blanchis par le départ du fer, c'est que ces sols étaient rougis par suite de la présence du fer à l'état d'oxydes. A l'état de carbonate, le fer ne donne aux roches qu'une coloration grise, impossible à distinguer de celle donnée par le carbone ou la pyrite. C'est d'ailleurs en passant à l'état de bicarbonate, ou de sels organiques, que le fer solubilisé disparaît. Mais à l'état inaltéré, en profondeur, les murs ne sont pas rouges, oxydés. Dawson, je l'ai déjà dit, a pris des phénomènes météoriques modernes, visibles dans des affleurements, pour des phénomènes contemporains de la formation des couches de houille. Dans ces affleurements, on voit en effet les murs se décolorer. L'oxydation du carbone fait reprendre d'abord aux murs leur coloration verdâtre, due sans doute au mica et à la chlorite. Puis, la disparition par altération de ces deux minéraux rend au mur sa teinte blanchâtre fondamentale.

9e Observation.

Dans la théorie autochtone, le mur a été primitivement un dépôt sédimentaire ordinaire, mais il se formait à une profondeur si faible qu'une végétation continentale a pu s'y installer, et c'est alors que la roche est devenue un sol de végétation et qu'elle a acquis les caractères que l'on considère comme spéciaux aux murs. Lorsqu'on a eu l'occasion d'étudier beaucoup de murs, en détail, comme cela peut se faire lors du débitage des carottes d'un sondage, on observe des faits incompatibles avec cette opinion, ou du moins inexplicables dans cette théorie. Voici ces faits :

A) On croit généralement que le mur est quelque chose de

simple, de bien net et bien distinct, constant dans ses caractères. C'est tout à fait inexact. Alors que bien des veines montrent une persistance remarquable dans toutes leurs particularités physiques, chimiques ou biologiques, et cela sur de grandes étendues, le mur qui est au-dessous varie, et parfois très fort, de composition lithogique, et cela sur de petites distances. Ces changements ne montrent aucune répercussion dans la couche susjacente.

B) Non seulement les murs changent en surface, mais ils changent aussi en hauteur, avec des intercalations de roches diverses. Dans cette variation en hauteur ou épaisseur, il y a une certaine règle de succession de formations impossible à expliquer dans l'hypothèse du sol de végétation. Dans toutes les plantes du type de celles que l'on trouve dans le Houiller, les racines vont toujours en diminuant de grosseur en s'écartant de la tige, donc de la surface du sol de végétation. Or, dans les murs, c'est bien souvent le contraire qui s'observe. La dimension des *Stigmaria* et surtout celle de leurs appendices, les radicelles, va bien souvent en augmentant, en descendant, donc en s'écartant de la couche ou ancien sol.

En tous cas, quand la succession des roches est typique et que le mur est épais, il est bien rare qu'on n'observe pas la succession suivante, en se rapprochant de la veine. Dans les parties supérieures du niveau de grès qui accompagne si souvent les murs, on commence à voir apparaître des radicelles isolées ou rares, longues, plus ou moins transversales, dans certains bancs, alternant avec d'autres qui n'en montrent pas. Dans le schiste psammitique ou dans le psammite surmontant ce grès, il est très fréquent de voir apparaître des radicelles particulières. Je les appelle, dans les coupes de sondage ou de travaux miniers que j'ai relevées, les grandes radicelles. Ce sont, en effet, les plus fortes, surtout en largeur, que je connaisse. Il n'est pas rare d'en voir ayant un centimètre de large. C'est aussi le niveau préféré des *Stigmaria*, d'abord pauvres en appendices radicellaires, mais devenant plus abondants en montant, dans une roche plus schisteuse, où les radicelles sont beaucoup plus abondantes que dans les couches précédentes. Dans ce type de mur il n'est pas rare de voir des bancs ne montrant que peu ou pas de radicelles, et alors le mur est très épais, l'ensemble pouvant atteindre 5 à 10 mètres. En montant, les radicelles deviennent plus petites, plus étroites surtout, et la roche, tantôt reste psammitique jusque sous la veine, tantôt devient de plus en plus schisteuse, argileuse même (murs gras). Le type le plus fréquent

est une roche un peu grossière, schisto-psammitique. Près de la couche les *Stigmaria* se font rares et petits. Tout cela ne concorde pas avec tout ce que l'on devrait voir dans un sol de végétation en place où les racines et radicelles devraient être plus grosses au voisinage de la souche et où le plus grand nombre de radicelles ne devrait pas être juste au sommet du sol végétal, mais assez bien plus bas. Quand on assiste au dessouchement d'un arbre, ce n'est pas près de la surface que le chevelu de radicelles est le plus touffu, c'est assez bien plus bas. Chez aucun arbre les radicelles et les racines n'augmentent de dimension en descendant.

Contrairement à ce que beaucoup pensent, les débris aériens de plantes ne font pas défaut dans les murs. Ils y sont disséminés à tous niveaux, mêlés aux radicelles, généralement rares. Mais parfois ils s'accumulent par lits minces, et alors ils peuvent devenir aussi abondants que dans les toits, et les plus beaux niveaux à plantes que j'aie vus, remarquables par la richesse et la beauté des spécimens, étaient dans des murs, dans le bassin de la Campine (voir les coupes de sondages). Lorsque les végétaux sont charbonneux, dans ces lits, ceux-ci se transforment en passées de mur et souvent en veinettes ayant même un toit rudimentaire (faux-toit). En pareil cas, ces formations isolent complètement la partie du mur située au-dessous de celle située au-dessus, car jamais je n'y ai vu quelque chose qui les traversât.

C) La texture si particulière des murs les plus typiques, qu'on a appelée texture de mur, ne me paraît pas, contrairement à ce que l'on a dit, pouvoir être considérée comme une caractéristique d'un sol de végétation. Elle est une conséquence des conditions sédimentaires qui régnaient au moment du dépôt de la roche. Ce ne sont pas les radicelles qui, en y pénétrant, ont pu lui imprimer cette texture. L'affirmation contraire est une simple affirmation sans preuve. La texture dite de mur n'est nullement confinée sous des couches de charbon. On en trouve souvent en pleine stampe stérile et sans la moindre trace de radicelles, preuve la plus évidente que ces radicelles ne sont pas indispensables à la production de cette texture. De plus, il n'est pas rare de voir, sous des couches, un mur à texture de mur sans radicelles ou avec si peu de radicelles qu'on ne comprend pas qu'elles auraient pu influencer la texture de la roche. Cette texture n'est d'ailleurs pas proportionnelle au nombre des radicelles, ce qui devrait être le cas si elles étaient la cause de cette texture. Bien mieux, la texture caractéristique de mur

n'est pas propre au Houiller. On la rencontre dans les terrains dont personne n'a songé à nier le caractère marin et où il ne peut être question de sol de végétation ni de radicelles, d'ailleurs complètement absentes. La texture de la roche si abondante dans le Dévonien inférieur de l'Ardenne, la grauwacke, n'est pas autre chose que la texture dite de mur. La grauwacke est en effet aussi une roche schisteuse, un peu grossière et psammitique, qui tombe en morceaux irréguliers, et dépourvue de feuilletage parallèle à la stratification et originel. Ce feuilletage, qu'il ne faut pas confondre avec le clivage schisteux, est dû à une sédimentation discontinue, en eaux calmes. Ni le temps, ni la profondeur, ni le métamorphisme ne sont nécessaires pour produire un dépôt feuilleté. J'ai décrit la formation d'une argile finement sableuse, aussi feuilletée qu'il est possible, se produisant dans un bassin de décantation (**140**). Aussi, Je ne puis concevoir la formation de la texture de mur et de grauwacke que comme le résultat d'une sédimentation ininterrompue et assez rapide, en eaux un peu agitées. Si les murs avaient été originellement stratifiés ou feuilletés, les radicelles auraient été incapables de faire disparaître complètement les traces de cette stratification ou de ce feuilletage. Nous en avons donné une preuve formelle plus haut (p. 74) pour les murs zonaires.

D) On a prétendu que les arbres dont les *Stigmaria* et les radicelles forment l'appareil souterrain ne pouvaient vivre que dans les sols très argileux. D'autres ont prétendu que, vu la compacité des sols de végétation, l'absence d'oxygène, les racines devaient s'étaler dans les couches superficielles du sol de végétation, le plus souvent horizontalement.

Toutes ces assertions résultent de généralisations hâtives de faits isolés.

En réalité, les radicelles se rencontrent, sous les couches (on peut dire) à toutes les profondeurs. J'en ai vu à 15 à 20 m. des couches. Naturellement, leur nombre diminue avec la distance à la couche, fait qui est loin d'être sans exception.

D'un autre côté, si le gisement préféré des radicelles est dans une roche un peu psammitique et schisteuse, cela n'empêche qu'il y ait des murs de roches les plus variées. On en trouve, les Gannisters, qui sont des quartzites typiques. D'autres sont du grès-quartzite ou du grès, du psammite, du schiste psammitique, de l'argile pouvant devenir assez pure pour être utilisée dans la production de briques alumineuses très réfractaires.

Les gros nodules de sidérose et surtout les bancs de sidérose massifs (*ironstone*), jadis exploités, surtout en Angleterre, sont

parfois pétris de radicelles. J'ai signalé (**141**, p. 188) la présence de radicelles dans du calcschiste et dans du calcaire dinantien et dans les grands bassins du type Mississipien (Donetz, Centre des États-Unis) le fait n'est pas rare. On trouve même des radicelles dans des conglomérats (**142**, pl. 112, n° 9).

10e Observation.

La superposition directe de murs sur des couches fossilifères marines est un fait commun dans les grands bassins mississipiens et en Europe dans le Houiller inférieur. Et ce fait se présente, non pas seulement une fois, mais plusieurs fois, sur la hauteur de quelques mètres. Dans la formation sur place, il y aurait là autant de phases continentales et de phases marines. L'épaisseur insignifiante des stampes stériles ne permet pas d'admettre que les mers auraient pu se combler assez pour que leur fond serait devenu continental au point de pouvoir servir de base à une végétation continentale. C'est de cette façon qu'on essaie, dans les théories autochtones, d'éviter la nécessité de nombreux mouvements du sol alternativement positifs et négatifs inadmissibles. Comme nous venons de le dire, dans les niveaux marins du Houiller, cette explication ne saurait être invoquée. Nous allons citer quelques coupes, choisies parmi quantité d'autres, où la succession des épisodes marins est si rapide et si fréquente, sur de faibles épaisseurs de strates, qu'il est impossible d'admettre qu'il y ait eu là autant de mouvements en sens inverse du sol, surtout que la profondeur d'eau dans laquelle les végétaux continentaux peuvent subsister est si limitée qu'il faudrait supposer à ces mouvements du sol la précision d'un mécanisme d'horlogerie pour avoir, chaque fois, lors d'une phase de soulèvement, arrêté juste à la hauteur voulue pour la vie des plantes et jamais au delà ni en deça. Même si l'on supposait pareille chose possible, il y aurait encore une objection grave. Les dépôts marins, argileux surtout, retiennent dans leurs pores une quantité notable de sel marin, qui ne s'en va que lorsque ces dépôts, par émersion, peuvent être filtrés par les eaux douces. Ici, pas d'émersion, donc pas de filtration. C'est donc dans un sol salé que les *Stigmaria* et les radicelles auraient dû pénétrer, parmi les restes d'animaux marins, comme on va le voir.

Il faudrait que les arbres de l'époque houillère fussent de bonne composition pour avoir pu vivre dans les conditions les plus variées où on les a placés, suivant les variantes de la théorie de la formation sur place.

J'emprunte les exemples suivants au travail que j'ai publié sur le Houiller inférieur du Hainaut (**142**). Sous le Poudingue houiller, il y a un niveau extrêmement constant. C'est celui de la veinette Sainte-Anne de Spy (N). J'ai trouvé des fossiles marins au milieu des radicelles de son mur (pl. 17, n° 2) et dans un mur qui surmonte son toit (pl. 115, n° 2, stampe 17).

Les radicelles du mur d'une veinette pénètrent dans le toit à faune marine d'une veine sous-jacente (pl. 65, n° 5). Entre deux veinettes on trouve une couche de gros *Stigmaria*, au milieu d'un toit marin avec calcaires à crinoïdes (pl. 105, n° 12). Quant à des murs reposant directement sur des couches à faune marine, on peut en citer de très nombreux exemples. Fréquemment la démarcation entre les deux est invisible au point de vue lithologique. Les radicelles, d'un côté, les fossiles marins, de l'autre, constituent les seuls indices de la différence des milieux. Certains de ces murs sont minces (0 m. 30), d'autres sont épais. Ces murs sont presque toujours sous des passées. Je citerai comme particulièrement frappant le cas d'une passée au toit très riche en fossiles marins et au mur psammitique brun, épais de 0 m. 50, reposant sur un banc de la même roche à faune marine variée. Au-dessous, même roche, mais stérile, avec texture de mur, mais sans radicelles (pl. 112, n° 4). Plus bas, dans la même stampe (n° 7), on voit un banc de mur de 0 m. 45 intercalé en plein toit marin épais d'une veinette. Plus bas encore (n° 11), un mur repose directement sur du calcaire à crinoïdes. Entre les deux niveaux extrêmes il y a seulement 95 m. avec plusieurs passées et des niveaux marins.

Je renvoie aussi aux cas suivants analogues : pl. 58, n°s 2-4-5; pl. 73, n° 10; pl. 87, n° 2; pl. 94, n° 6; pl. 47, n° 3; pl. 48 n°s 6-10; pl. 51, n° 2; pl. 88, n° 6; pl. 95, n° 3; pl. 98, n°s 4-8; pl. 100, n° 4; pl. 105, n° 12; pl. 27, n° 3; pl. 129, n° 5.

11e Observation.

Nous avons déjà montré, plus haut, que dans les veines complexes, à plusieurs lits rapprochés, seul le lit inférieur a un mur, dans le plus grand nombre de cas; les autres n'en ont pas. Nous allons citer des cas encore plus convaincants. On peut voir, au beau milieu de toits typiques, à faune complètement marine, souvent, des veinettes de charbon ne se distinguant en rien des veinettes ordinaires et qui ne possèdent pas la moindre trace de mur. Je citerai le cas de la veinette Sainte-Barbe de Ransart, dont le toit est un des horizons marins les plus constants du Houiller inférieur. Dans ce toit fossilifère, j'ai vu (ibidem,

pl. 132, n° 4), à 0 m. 25 de la veinette, un lit de charbon de 0 m. 02, parfaitement régulier et visible sur toute la section du bouveau (au moins 5 m. carrés). Ce charbon adhère à un lit de 0 m. 02 de calcaire marin fossilifère. D'autres recoupes du même niveau, au voisinage, montrent que ce lit de charbon est local. A part cela, c'est du charbon identique au charbon de la veinette. Il est même plus pur et plus beau. Voir des cas semblables : pl. 153, n° 3 et pl. 149, n° 1.

Dans d'autres cas, des veines ou veinettes surtout, n'ayant rien de particulier, reposent sur des rochers ayant les caractères du toit, sans radicelles ou avec radicelles, rares ou disposées à plat, comme dans les toits. D'autres fois, sous le charbon, on voit une roche ayant la texture dite de mur, sans la moindre radicelle ni *Stigmaria*. Je citerai les cas que j'ai décrits : Ibidem, pl. 6, n° 1; pl. 46, n° 1; pl. 51, n° 6, pl. 65, n° 4.

12e Observation.

J'ai eu l'occasion d'observer des veinettes et des passées dont le sommet du mur était formé par une roche le plus souvent tendre et schisteuse, généralement peu épaisse, où les radicelles se trouvaient dans un état de fragmentation tel que je n'ai pas hésité à les qualifier de mur à radicelles hachées, tellement la ressemblance était grande avec les roches dites à végétaux hachés (*Haecksel*), si fréquentes dans les stampes stériles. Il y a de ces roches qui sont littéralement pétries de ces fragments empilés les uns sur les autres, parfois même orientés dans le même sens. Comme exemple, je citerai un lit de 0 m. 05 charbonneux, rempli de radicelles hachées, de *Neuropteris* et de Sigillaires, reposant sur du mur schisteux, sous une passée (cf. ibidem, pl. 134, n° 2). Parfois les radicelles sont rares, et alors leur état fragmentaire est encore plus net (pl. 132, n° 4). Dans ce cas, la roche est souvent psammitique (pl. 112, n° 1).

Ces bancs isolent la veinette ou passée de son vrai mur et empêchent qu'on puisse considérer celui-ci comme ayant concouru à la formation de la passée ou de la veinette.

13e Observation.

Plusieurs auteurs ont cité un fait remarquable : c'est que l'on trouvait des échantillons de végétaux du Houiller dans lesquels des radicelles de *Stigmaria* avaient pénétré. W. Binney, en 1871 (**19**, pl. XVI); B. Renault, en 1882 (**117**, p. 44); Seward, en 1898 (**126**, t. I, p. 305); Potonié, en 1899 (**105**, p. 336); Grand'Eury, en

1900 (**65**, séance du 2-4-1900); A. Renier, en 1906 (**111**, p. 277). Comme c'est un fait important, qu'on en a tiré des conclusions capitales, nous allons l'examiner de près.

Comme Grand-Eury se borne à citer le fait, sans en donner la moindre preuve, ni la moindre description, son affirmation est sans valeur, malgré qu'il l'ait répétée plusieurs fois. Les trois premiers auteurs ont décrit et figuré ces perforations de façon qu'on ne saurait les nier. Ils n'en ont tiré aucune conclusion au sujet du mode de formation de la houille. Leurs observations ont, en effet, porté sur des végétaux inclus dans des nodules à structures conservées, trouvés au beau milieu de la houille. Il serait impossible, au moyen de ces nodules, forcément limités, de montrer que ces radicelles perforantes se rattachaient à une plante croissant *in situ*. Si, par d'autres observations, on vient à montrer que la houille est formée de végétaux transportés, le fait des perforations est aisé à expliquer et ne contrarie en rien ce mode de formation. Qu'y a -t-il d'étonnant à ce que, dans les forêts d'où viendraient ces végétaux, les racines adventives aériennes ou autres des plantes vivantes aient perforé des morceaux de bois mort gisant sur le sol? Au moment de la débâcle qui entraînait toute la forêt, ces morceaux perforés, qui devaient couvrir le sol, sont partis et se sont déposés avec tout le reste.

Mais les observations de M. Renier ont une toute autre portée. Je renvoie au travail (**111**) où il a décrit minutieusement le phénomène de la perforation, observée dans des murs, sur des végétaux, par des radicelles. Il a tiré des faits qu'il a décrits la conclusion que ces perforations étaient dues à des radicelles de plantes croissant sur place. Cette conclusion, étant directement opposée à celle que j'ai tirée de l'étude des murs, a attiré mon attention depuis de nombreuses années et j'ai soigneusement étudié les cas qui se sont présentés. Ces cas ne sont pas bien rares, et de leur étude j'ai déduit les observations suivantes :

a) Les empreintes perforées sont, du moins celles que j'ai vues, toujours des Calamites. C'est d'ailleurs la plante de grande dimension, de loin la plus commune, à plat, dans les murs. Les Sigillaires ou Lepidodendrons sont bien plus rares, isolés. On en trouve, mais alors, le plus souvent, ils sont réunis en petits lits minces, ou ils sont formés d'une lame épaisse de charbon. Jamais je n'ai vu de perforations dans une feuille de Cordaïtes [1], d'ailleurs plutôt rares dans les murs. Et cependant, ces

[1] Le seul cas où j'aie vu des perforations de Cordaites, et elles n'étaient guère décisives, c'est au sondage n° 81 d'Eysden, charbonnage Limbourg-Meuse, dans un mur psammitique, à 1,003 m. 50 de profondeur.

feuilles semblent offrir aux perforations un champ d'action égal à celui des Calamites.

b) Les Calamites perforés sont presque toujours réduits à de simples empreintes. Quand l'empreinte conserve une trace de son écorce, sous forme de charbon, c'est toujours, si elle est perforée, cas très rare, une pellicule très mince. Les empreintes en charbon épais ne sont jamais perforées.

c) Les empreintes perforées sont en plus déchirées, plus ou moins plissées, ou tordues. Quand les Calamites se présentent sous forme de cylindres extrêmement aplatis, ils le sont de façon inégale, dans leur étendue.

d) En examinant très attentivement, à la loupe, les perforations, on voit qu'elles s'accompagnent souvent d'une déchirure parallèle aux côtes du Calamite et, de plus, il y a, autour de la radicelle perforante, un léger soulèvement de l'empreinte du Calamite, en forme de cône, qui permet de distinguer le sens dans lequel s'est faite l'introduction de la radicelle au travers de la plante. En pareil cas, le plus souvent, on voit que la perforation s'est faite de bas en haut, c'est-à-dire vers la couche. Pour que cette constatation puisse se faire, il faut évidemment des échantillons bien orientés, ceux d'un sondage bien surveillé notamment.

e) Il est fréquent de voir, dans les empreintes perforées et autres, se trouvant dans les mêmes conditions, non seulement des perforations, mais des rides dessinant, à la surface de l'empreinte, tantôt des creux, tantôt des saillies semblables à celles que font des veines sur le dos d'une vieille main, mais rectilignes. Par débitage délicat, il est aisé de voir que chaque ride est due à la présence, sous l'empreinte, d'un débris végétal, une radicelle le plus souvent, parfois un pétiole de fougère, un débris d'écorce.

f) L'observation la plus capitale est la suivante : Si l'on ne se contente pas d'observer qu'il y a perforation, mais si, par débitage, on suit la radicelle perforante, en choisissant surtout les radicelles les moins aplaties, on peut voir qu'elles sont, comme les autres radicelles du mur, des fragments terminés aux deux bouts par une section mécanique. De plus, la radicelle présente des longueurs très différentes de part et d'autre de la perforation. Le sens de la perforation étant connu par le retroussement de l'empreinte, comme nous l'avons dit plus haut, on voit que la partie de la radicelle qui a traversé l'empreinte est toujours très courte : quelques millimètres, jamais plus d'un centimètre, tandis que l'autre partie de la radicelle est beaucoup plus longue et de longueur variable.

g) Il arrive que par l'ouverture d'une perforation on voie la radicelle, non pas sous la forme d'une section transversale, mais comme à plat. Par dégagement, il est parfois possible de voir que cela est dû au fait que la radicelle s'est repliée au contact du Calamite et a perforé celui-ci en faisant genou.

Que faut-il conclure de ces observations? La minceur et la délicatesse des Calamites perforés ne permettent pas de croire qu'ils auraient pu voyager embrochés sur des radicelles, comme les morceaux de bois des nodules à structures conservées. La perforation s'est faite sur place. Mais est-elle d'origine biologique, œuvre d'une radicelle vivante en place, comme le croit M. Renier? Cette théorie est inconciliable avec les observations. La perforation est purement mécanique. Par suite du géotropisme des radicelles, la grande majorité des perforations devrait se faire de haut en bas et non de bas en haut. Si les radicelles peuvent percer une pellicule mince charbonneuse, elles devraient aussi percer les Sigillaires épais, car dans les nodules l'épaisseur du bois n'arrête pas les radicelles. Mais les observations *f* et *g* montrent de façon décisive qu'il ne s'agit pas de radicelles vivantes, mais de fragments. Comment expliquer mécaniquement la production des perforations?

Quand on a observé la sédimentation, par exemple au bord de la mer, on sait qu'il faut un temps plus ou moins long pour que l'amas sédimentaire formé devienne ferme et consistant. Le baigneur sait que son pied s'enfoncera à travers 0 m. 30 d'argile fine, sans presque éprouver de résistance, tandis que, sur du sable grossier, il trouvera un terrain résistant.

La profondeur sous eau, le temps et l'abondance des sédiments interviennent aussi dans le phénomène. Aussi, si l'on s'enfonce dans une couche sédimentaire en formation, on la trouve de plus en plus consistante. Cela étant, si l'on admet, avec nous, que le mur est une couche sédimentaire renfermant des débris de radicelles transversales ou horizontales et des Calamites disposés à plat, le sédiment va se consolider petit à petit en expulsant de l'eau, en se tassant. Vu le poids plus grand de sédiments qui presse sur les Calamites, à cause de leur grande surface, ils descendent, par tassement, plus vite que les autres corps; surtout que les radicelles transversales, où la pression n'agit que sur la section horizontale minuscule, tandis que le frottement le long de la surface longitudinale de la radicelle l'empêche de descendre. Dans ces conditions, si une empreinte de Calamite mince et peu résistante vient à rencontrer une radicelle transversale, celle-ci passera au travers de l'autre. On com-

prend alors la raison des coïncidences suivantes. Presque toutes les radicelles perforantes sont peu comprimées et très rarement aplaties, et ainsi elles présentent une raideur plus grande que les rubans plats de la plupart des radicelles. Celles-ci, sous la pression du Calamite, tendent plutôt à replier leur bout supérieur, qui alors, faisant genou, pourra percer légèrement le Calamite. Ensuite, je n'ai jamais vu de radicelles perforantes dans des grès ou dans de vrais psammites, mais bien dans les murs à grain fin, où le tassement est assez fort. Il peut y avoir aussi des perforations de haut en bas, car des radicelles entraînées par flottement peuvent traverser des Calamites déjà stabilisés dans des couches déjà tassées inférieures; mais ce cas doit être, théoriquement, bien plus rare que l'autre, et il l'est en fait.

Lorsqu'on voit les rides tracées par des radicelles horizontales, sur un Calamite, rides souvent entrecroisées, on a l'impression très nette qu'il y a eu là tassement et non impression par une racine vivante. Celle-ci n'aurait eu aucune raison pour cette impression, car l'espace ne manque pas à côté. On sait en effet que si les radicelles peuvent perforer d'autres végétaux morts, elles ne le font pas sans nécessité. Elles préfèrent contourner l'obstacle plutôt que de le percer (**156**).

A l'appui de ce que je viens de dire, je citerai les faits suivants : j'ai plusieurs fois constaté, sur des empreintes de Calamites couchées dans des murs, des invaginations, comme celle que produit un petit doigt dans une pâte. En examinant, par débitage, la contre-empreinte, on voit que cette invagination est due à la poussée d'une radicelle perpendiculaire au Calamite. Celui-ci n'opposant aucune résistance, car il ne consiste qu'en une empreinte, rien n'empêchait la radicelle, si elle était vivante, de perforer le Calamite. Il s'agit d'un arrêt de la radicelle dû à l'insuffisance du tassement. J'en ai vu un bel exemple dans le faux-toit de la veine recoupée à 489 m. dans l'avaleresse du puits d'air du Nord de Gilly. On y voyait des radicelles s'arrêtant net, sans l'affecter, contre un épais Sigillaire couché sur la veine. Par contre, un Calamite montrait une belle invagination, comme celle que je viens de décrire.

Un mur, situé sous un grès de l'assise d'Andenne, à 464 m. 50, au sondage des Dunes à Leval-Trahegnies, m'a fourni des échantillons intéressants. Un grand Calamite s'y montre tout bosselé par des tassements inégaux. Il y a aussi quelques invaginations semblables à la précédente. Mais au-dessous, les morceaux de radicelles comprises dans un banc de 0 m. 02 séparant ce Calamite d'un autre, ont produit quelques vraies perforations dans

le Calamite inférieur, aussi bosselé et plié. A côté un *Calamites ramosus* ne montre aucune perforation, sans doute à cause de la résistance opposée par son écorce, qui a produit une mince couche de charbon.

Un fait identique pouvait s'observer dans un banc de 0 m. 02 de mur provenant du bouveau Nord, à 140 m. du puits n° 3 du charbonnage de Courcelles-Nord, à 1002 m. de la Veine au Loup (assise d'Andenne). Les deux faces du banc sont tapissées de Calamites, entre lesquels on aperçoit des morceaux de radicelles transversales. Sur une des faces les Calamites ne sont pas perforés, mais sur l'autre, une radicelle soulève et perfore un Calamite.

Dans aucun de ces exemples il ne peut être question de radicelles vivantes.

Mais voici des faits encore plus probants : Au toit de la Veine Grosse Masse, étage de 670 m. du puits Sainte-Henriette du Bois communal de Fleurus, le premier banc du toit est rempli de feuilles de Cordaïtes et de larges pétioles de fougères (*Aulacopteris*). Il y a quelques radicelles et de nombreuses feuilles de Sigillaires. La distinction entre ces deux est facile : les feuilles, avec leur forme régulière et leur côte médiane rectiligne, ressemblent, comme le dit B. Renault (**117**, p. 41), à des lames de fleuret rigides et aiguës. Mais leur forme générale et sans doute aussi leur raideur les font ressembler aux radicelles voisines; les unes et les autres produisent des perforations dans les *Aulacopteris*, mais non dans les Cordaïtes. On ne prétendra pas cependant que des feuilles détachées de l'arbre aient un pouvoir perforant vivant.

Un échantillon de toit provenant du sondage d'Hyon m'a fourni un cas semblable. Avec sa texture particulière de mur et l'abondance des mêmes feuilles de Sigillaires orientées en tous sens, on se serait cru en présence de mur vrai. Le doute n'était cependant pas possible. Des Calamites couchés à plat étaient manifestement perforés par ces feuilles.

Un échantillon pris à la base d'un mur, à 993 m. 80 de profondeur, au sondage de Loverval (Marcinelle-Nord), est constitué par du schiste feuilleté. Il montre des Calamites perforés, et cependant on ne voit pas de radicelles dans l'échantillon, sauf uniquement dans la perforation. Ce sont, dans ce cas, probablement des Calamites perforés là où ils avaient vécu, puis transportés jusqu'au point où ils se sont déposés dans ce schiste.

La même explication, je n'en vois d'ailleurs pas d'autre, peut être donnée pour des perforations inexplicables, même mécani-

quement. Ce sont des perforations faites, non pas par des radicelles transversales à la plante perforée, mais très obliques, au point que le morceau de radicelle perforante reste collé à la plante perforée de part et d'autre de la perforation. La radicelle n'était pas vivante, puisque ce n'est qu'un fragment. Mais ces fragments ont pu voyager grâce au fait qu'ils étaient en quelque sorte collés contre la plante perforée.

M. A. Renier a décrit de belles perforations d'un Calamite entier très aplati (**111**, pl. XI, fig. 7-8). Comme on l'a vu, d'après ce qui précède, sans débiter les échantillons on ne sait pas élucider l'origine de la perforation. Des photographies ne suffisent pas. Mais j'ai recontré deux débris plus ou moins aplatis qui vont nous fournir quelques données.

Au charbonnage de Beeringen, le mur de la veine n° 63, au bouveau Est, à 727 m., est très peu typique. Il est stratifié et formé d'alternances de lits peu épais, avec rares radicelles manifestement en fragments et rarement transversales, et de lits plus minces remplis de feuilles de *Neuropteris* avec Calamites

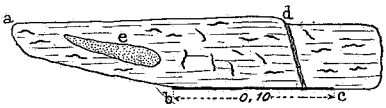

FIG. 6.

et quelques radicelles toujours à plat. Juste sous la couche, j'ai vu une branche de *Calamites Cisti* montrant parfaitement des déformations dues vraisemblablement aux tassements qui se sont produits dans la roche au moment de sa sédimentation. La coupe de la figure 6 indique les conditions de gisement.

a-d : Joint de base de la couche, un peu poli et glissé.

b-c : Joint un peu oblique, couvert en grande partie par l'écorce d'un *Aulacopteris* sous forme d'une mince couche de charbon. Largeur minimum : 0 m. 10.

d : Radicelle transversale, mais qui ne perfore pas du tout l'*Aulacopteris*. C'est manifestement un débris ne se rattachant à rien et coupé net à la base et au sommet.

e : Branche ovalisée de *C. Cisti* : longueur, 0 m. 08; largeur, 0 m. 04; épaisseur maximum, 0 m. 008. Une pellicule extrêmement mince de charbon le recouvre.

Sur sa surface supérieure le tassement a produit une rupture de l'écorce, ne se répercutant pas sur la face inférieure. Aussi la plus grande partie de la branche est plus aplatie d'un côté de cette rupture. Dans la rupture il y a une soi-disant perforation

qui n'intéresse pas la face inférieure, donc à peine éloignée de 0 m. 008. La radicelle qui l'a produite a cependant 0 m. 006 de large, donc plus large que la moyenne, comme celle des autres perforations, au nombre de quatre, affectant la même face supérieure et dont aucune n'arrive jusqu'à la face inférieure de la branche, car celle-ci ne montre que deux perforations très imparfaites et ne correspondant pas du tout avec aucune des quatre précédentes. Ces perforations sont visiblement de faibles invaginations, de haut en bas, de radicelles qui sont descendues avec la roche, lors du tassement qui a rompu, de haut en bas aussi, la face supérieure de la branche.

Sur les deux surfaces on voit courir de petites rides comme celles que j'ai décrites plus haut. C'est un fait extrêmement fréquent sur les grandes empreintes de Calamites ou de Cordaïtes des murs. Lors du tassement, les écorces, réduites à presque rien, molles et peu résistantes, ont bombé en s'appuyant sur les radicelles, plus coriaces sans doute.

Ajoutons que la surface de l'*Aulacopteris c-b* ne montre pas la moindre perforation, malgré sa minceur et son étendue (plus de 50 centimètres carrés).

Un autre échantillon provient d'un mur recoupé au bouveau Nord, étage de 140 m. du puits n° 3 de Courcelles-Nord, à 998 m. de la Veine au Loup. Sa section montre la coupe suivante (figure 7) :

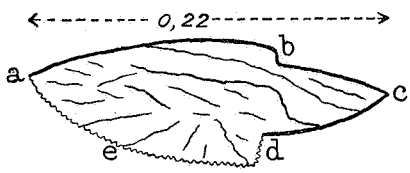

FIG. 7.

a-b-c-d : Empreinte d'une tige ou branche indéterminable, couverte, par places, d'une mince pellicule de charbon. Longueur : 0 m. 18.

a-e-d : Mur psammitique, rempli de radicelles, sur lequel la plante est appliquée.

Dans ce cas-ci, comme dans tous ceux où l'on trouve, dans un mur, une tige ou une branche qui n'est pas complètement aplatie, l'intérieur est rempli de la même roche avec radicelles que celle du mur environnant. Ici, il n'y a pas la moindre trace de perforation, mais de *b* à *c* la tige est décortiquée et l'on voit

des radicelles littéralement appliquées sur la face interne de l'écorce. Toutes les radicelles sont visiblement des fragments, la plupart trop petits pour avoir pu produire des perforations. Les plus grandes ont pris une allure presque parallèle à celle des parois de la tige, ce qui les a probablement empêchés de la perforer lors de son aplatissement. La variété de largeur des radicelles indique bien aussi un mélange hétérogène de fragments.

Je citerai un dernier cas, non moins instructif, observé dans le mur de la Veine Grand Défoncement, étage de 401 m., au charbonnage du Bois communal de Fleurus, à 1 m. 20 sous la veine. L'échantillon montre un joint de stratification couvert de deux gros Calamites aplatis sur ce joint. Un axe de *Stigmaria* d'environ 0 m. 02 de diamètre, encore pourvu de deux rangées symétriques d'appendices, monte au travers de la roche, sur 0 m. 11, suivant un angle de 50° par rapport au joint susdit. Il vient buter contre un des Calamites, contre lequel il s'arrête net, sans le traverser ni l'affecter en rien, pas plus que le joint de stratification. Rien ne saurait mieux montrer que ce *Stigmaria* n'était là qu'un débris mort enlisé dans un sédiment en voie de formation. La nature psammitique de la roche n'ayant pas permis de tassement ultérieur, aucune perforation ne s'est produite, ce qui eût été inévitablement le cas de la part d'un *Stigmaria* vivant sur place.

14e Observation.

Dans les galeries d'un charbonnage, il est facile de voir que la surface qui sépare une couche de charbon de son mur est un plan très régulier et le plus souvent très net et facile à distinguer. Cela est surtout vrai dans le cas le plus général : celui où la couche est plus foncée que son mur et où il n'y a pas de transitions. Ces transitions peuvent rendre le joint séparant la couche de son mur moins visible, en faisant disparaître la différence d'intensité de la teinte entre le charbon et le mur. Par exemple, la présence d'un faux-mur noir intense rend la séparation moins nette, mais il reste encore une différence d'éclat. Il y a cependant des cas où la transition est si insensible qu'on ne sait où tracer la limite entre la couche et son mur, mais ce n'est que l'exception. La régularité du plan séparant une couche de son mur est plus habituelle que celle du plan qui sépare la couche de son toit. Aussi on décrit, ou l'on cite, les cas où des irrégularités s'observent au mur de la couche. On les appelle, en Angleterre, des *Horse* ou *horsebacks*, des

swells. J. Beete-Jukes en figure un bel exemple (**10**, p. 186, fig. 6) sous la couche *Thick coal* de S. Staffordshire. Je n'en ai jamais vu beaucoup en Belgique et j'ai décrit le plus typique, bien semblable à celui du *Thick coal* (**138**, p. 20, fig. I). La régularité de ce plan n'a rien d'étonnant dans la théorie allochtone. C'est un joint de stratification limitant une couche sédimentaire, le mur, et la séparant d'une autre couche sédimentaire, la veine.

La régularité de ce plan est-elle aussi explicable dans l'hypothèse autochtone? Nous allons montrer que non.

Nous nous placerons dans le cas le plus favorable, en admettant que le mur aurait été d'abord un dépôt sédimentaire, aqueux, dont la surface supérieure aurait été, à l'origine, comme dans notre hypothèse, un joint de stratification, donc un plan régulier. Je prétends que l'existence prolongée d'une épaisse forêt, à la surface de ce plan, n'a pu manquer d'en faire disparaître la régularité et la netteté surtout. Représentons-nous ce que devait être une forêt de l'époque houillère et prenons à part un de ses arbres dont le diamètre pouvait aisément atteindre un mètre. Ajoutez à cela les quatre maîtresses racines. Le développement, juste au-dessous du plan en question, de pareils colosses ne peut se faire sans que la terre végétale ne soit refoulée dans toutes les directions, où elle se heurtera à la terre refoulée par les arbres voisins. Et durant ce temps la surface de ce sol de végétation serait restée plane! Mieux encore, après la mort de chacun de ces arbres, les parties souterraines, à l'abri de l'air, puisque sous eau, ne vont pas manquer de se transformer en charbon, avec plus de raison encore que leurs parties aériennes formant la couche. Est-ce que, dans ce cas, il ne devrait pas y avoir, à l'emplacement de chaque arbre, c'est-à-dire partout, une quantité d'apophyses ou digitations charbonneuses partant de la couche et pénétrant plus ou moins loin dans le mur? Où a-t-on jamais vu ces digitations? Qui en a figuré et décrit? J'en ai figuré un cas (**137**, p. 70, et pl. IV). Ces digitations, très étendues, n'avaient rien de végétal. C'étaient manifestement des entraînements de charbon par courants. D'ailleurs, je le répète, au risque de redites, les digitations en question devraient être la règle et non pas l'infime exception.

Pour ceux qui admettent la formation sur place, à la surface des continents, la situation n'est pas meilleure. Un des partisans de cette théorie, R. P. G. Schmitz, a eu l'heureuse idée de photographier le mur d'une tourbière terrestre (**125**, pl. VIII). Si l'auteur n'avait pas placé des lettres à côté des divers termes

de la coupe, on n'aurait jamais pu deviner qu'il y avait là trois termes superposés, vu l'absence complète de ligne de démarcation entre ces termes, qui se fondent l'un dans l'autre de la façon la plus insensible. Rien n'est plus capable de nous prouver la différence qu'il y a entre le sommet d'un pareil mur et celui du mur d'une veine du Houiller.

15e Observation.

Les *Stigmaria* étaient des racines ou des rhizomes cylindriques. On en trouve assez souvent de cette forme pour qu'il n'y ait pas de doute. Il en était de même de leurs appendices, les radicelles. On en trouve aussi de cette forme, et Potonié, cité par G. Schmitz (**123**, p. 36) en a signalé et a ajouté que c'était la forme de l'organe vivant. La rareté du fait de cette trouvaille mérite une mention spéciale, dit R. P. G. Schmitz. Ce fait va en effet retenir notre attention. Dans la théorie autochtone, tout l'appareil souterrain des plantes est en place, dans le mur, et il s'y est décomposé après la mort. Cela étant, on s'explique difficilement les faits suivants :

a) Pourquoi y a-t-il des *Stigmaria* et des radicelles qui ont conservé une gaine plus ou moins épaisse de charbon et d'autres, de très loin la majorité, surtout parmi les radicelles, qui sont réduits à de simples empreintes, sans la moindre trace de charbon? On pourrait croire que le premier cas se présente quand ces débris végétaux se trouvent dans des roches où la décomposition a été moins complète, ou bien qu'ils se trouvent dans des roches qui ont mieux conservé les produits de la décomposition. Il n'en est rien. Les deux cas se rencontrent dans les roches les plus diverses. Dans les murs argileux, gras, qui semblent, à priori, réaliser ces deux conditions, les deux cas se présentent indifféremment. Même dans les grès grenus, qui semblent si défavorables, les *Stigmaria* sont plus fréquemment charbonneux qu'ailleurs.

b) Le même fait bizarre s'observe pour la forme de ces restes. Tontôt on les trouve complètement aplatis; c'est aussi, de très loin, le cas le plus général. Tantôt ils sont seulement ovalisés, tantôt parfaitement cylindriques. Pourquoi ces différences pour des objets placés dans les mêmes conditions dans la théorie autochtone? Je n'en vois pas pour la différence *a*. Quant à l'autre, il est certain que l'ovalisation ou l'aplatissement s'expliquent, dans la plupart des cas, par la pression due à l'accumulation des sédiments. Mais cette explication ne peut suffire pour tout expliquer, car la pression en question ne peut agir que sur

les restes plus ou moins obliques à la stratification ou horizontaux. Elle est inefficace sur des cylindres verticaux ou presque, car là la pression verticale est insignifiante par rapport aux pressions latérales qui, agissant de tous côtés, doivent tendre seulement à diminuer le diamètre des cylindres. Mais, en fait on n'observe pas ce que je viens de signaler. Les restes ovalisés ou cylindriques peuvent se trouver dans toutes les positions, cependant avec prédominance de la position verticale, pour les *Stigmaria*.

Quant aux radicelles ovales, comme je l'ai déjà dit dans ce qui précède, elles se trouvent surtout : 1° dans les murs-toits très feuilletés, où elles affectent l'allure concentrique (cf., p. 80); 2° dans les murs très psammitiques et dans les grès; 3° là où elles sont au travers d'une végétation étalée à plat (radicelles perforantes). Aucune de ces situations ne me paraît justifier que ces restes seraient là en place.

Combien il est plus facile d'expliquer tout cela en admettant que ces débris ne sont pas en place! Avant d'être mêlés aux sédiments du mur, ils ont flotté et voyagé plus ou moins longtemps, en se décomposant plus ou moins et en prenant, par disparition de leur intérieur, même au sein de l'eau, la forme de simples rubans pour les radicelles, forme accentuée plus tard, au sein des sédiments, par la pression verticale ou tangentielle.

16e Observation.

On voit, d'après ce qui précède, que mes observations diffèrent complètement de celles de M. A. Renier. Dans le travail de 1906, où il a consigné ses observations, il répète plusieurs fois le même fait (**111**, p. 266); il dit que les végétaux du toit sont des fossiles désintégrés, ceux du mur des fossiles complets. Page 268, il dit : La plupart des *Stigmaria*, je pourrais même dire la totalité de leurs axes, possèdent une macrostructure conservée. Page 275, il recherche la signification de ces *Stigmaria* entiers qui caractérisent les murs. Si tous les *Stigmaria* que M. Renier a vus avaient leur macrostructure conservée, il peut dire qu'il a eu de la chance. Parmi les milliers qui me sont passés par les mains, 99 % au moins étaient réduits au même état que les branches ou tiges des toits, c'est-à-dire que l'écorce des axes ou rhizomes seule subsistait, chez certains, sous forme d'une pellicule de charbon lenticulaire provenant de l'aplatissement complet de ces axes. J'ai soigneusement examiné les spécimens, peu nombreux, où les axes de *Stigmaria* étaient restés

cylindriques ou simplement ovalisés, dans l'espoir d'y trouver des structures, mais sans aucun succès. Il y en avait cependant de toute espèce : remplis de schiste (cas très rare), remplis de psammite ou de grès ou de grès très argileux (les plus nombreux). J'en ai même vu quelques-uns transformés en sidérose, que j'ai polis et attaqués à l'acide, espérant être plus heureux, mais sans succès.

Reste le fait que les *Stigmaria*, dans les murs, seraient entiers; d'où il tire la conclusion qu'ils seraient en place et que le mur serait un sol de végétation. Tout d'abord je dois dire que je ne saisis pas ce que l'auteur entend par *Stigmaria* entier. Un *Stigmaria* n'est pas un végétal entier. Ce n'est qu'une partie d'un végétal; c'est une de ses racines. Comment peut-on prouver qu'une racine est entière? En montrant qu'elle est attachée à une souche ou à un morceau de souche. Dans le premier de ces deux cas, seul, il y a possibilité de dire que la racine est non seulement entière, mais encore en place. Dans tous les autres cas, la racine aura beau être entière, ou en morceaux, elle ne sera pas en place, car une racine ne pouvant vivre et croître qu'attachée à une plante (un arbre pour les *Stigmaria*), une racine seule sera toujours un morceau de plante et non un fossile entier, comme les appelle M. Renier. C'est comme si l'on appelait fossile entier une valve complète de bivalve. Est-ce que les *Stigmaria* étudiés par M. Renier étaient tous attachés à des souches? Evidemment non; sans cela il n'aurait pas manqué de le dire et de décrire ces souches, tant leur rencontre dans les murs est rare et intéressante.

Mais le fait, pour un *Stigmaria*, d'être attaché à une souche ne suffit pas encore pour qu'on puisse dire qu'il est en place et complet. Il faut qu'il porte, attachées, autant de radicelles qu'il montre de cicatrices d'insertion. Il ne ressort pas du tout du texte de M. Renier que ses *Stigmaria* possédaient ce caractère. Sur la figure 9, p. 283, il représente trois murs. Ce figuré n'est pas schématique; ce sont même des types très fréquents. On y voit quantité de radicelles ne se rattachant à rien, trois souches dont nous parlerons plus loin, et en tout quatre *Stigmaria*. Deux n'ont de radicelles que d'un côté, vers le bas, où il n'y en a que deux ou trois. Sur un *Stigmaria* complet il y a des radicelles partant dans tous les sens également.

Cet exemple prouve ce que nous avançons : tout, dans un mur, est fragmenté, désintégré, comme dans le toit. Rien n'est en place et y ayant vécu.

Dawson, qui a aussi, dans une coupe, représenté quatre *Stig-*

maria, ne leur donne de radicelles que vers le bas. Ils sont en pleine stampe stérile et il les considère comme ayant vécu là où il les a trouvés. Cependant, il ne pouvait ignorer que les radicelles doivent exister sur tout le pourtour des *Stigmaria*, car on n'a jamais vu un seul de leurs axes ne présentant de cicatrices d'insertion que d'un côté, vers le bas (**34**, p. 21, fig. 2).

Potonié considère aussi comme autochtone un axe de *Stigmaria* couché à plat, parce qu'il porte encore attachées des radicelles. Mais la figure qu'il en donne (**106**, p. 5) montre nettement qu'une partie seulement des radicelles a été conservée, même dans le plan de stratification, où l'axe est couché. Il n'a étudié qu'un seul côté perpendiculaire à ce joint, et encore il ne l'a pas débité pour voir si les radicelles étaient au complet. Il ne prouve pas du tout donc qu'il est en place, au contraire.

Conformément à ce que je dis dans l'observation précédente, les radicelles qui sont parallèles à la stratification sont aplaties. Celles qui sont transversales sont restées cylindriques.

17e Observation.

H. Potonié, et d'autres à sa suite, ont invoqué contre l'origine allochtone des *Stigmaria* du mur le fait que les radicelles, n'ayant aucune raideur, devraient, si elles n'étaient pas en place, s'appliquer comme des torchons mouillés sur le *Stigmaria* et non se diriger dans toutes les directions (**103**, p. 32). L'objection part d'une observation bien rudimentaire, interprétée encore plus rudimentairement. Si la sédimentation se faisait à l'air libre, Potonié aurait raison; mais elle se fait sous l'eau, et alors tout change de face. Les végétaux aquatiques, qui sortis de l'eau s'affaissent et s'agglomèrent, plongés dans l'eau s'étalent et se délient dans tous les sens, même vers le haut, non pas parce qu'ils sont raides, mais parce qu'ils ont une densité plus faible que celle de l'eau. Chacun peut vérifier cette observation sur les algues marines et les plantes d'eau douce (*Ranunculus fluitans*, par exemple). Les radicelles se sédimentant, avec leur *Stigmaria*, au sein d'une eau boueuse, dense, et étant cellulaires, pouvaient donc s'étaler dans tous les sens dans cette eau boueuse et s'y enliser ainsi.

Mais, néanmoins, la pesanteur devait incliner le plus grand nombre de radicelles vers le bas. D'où le fait, facile à vérifier chez les *Stigmaria* du mur, qu'ils ont toujours plus de radicelles vers le bas que vers le haut.

Nous avons aussi rappelé plus haut que des Stigmaria figurés par Dawson et Renier n'ont même de radicelles que vers le bas.

Ces deux circonstances, inexplicables si les *Stigmaria* étaient en place, s'expliquent donc fort bien dans l'hypothèse contraire. L'objection de Potonié se retourne donc contre lui.

18e Observation.

M. Renier (**111**, p. 272) dit que les axes de *Stigmaria* sont extrêmement abondants dans la couche en contact immédiat avec la veine de charbon et se font progressivement plus rares en descendant.

Certains auteurs (Potonié, par exemple) emploient indifféremment le terme de *Stigmaria* pour les axes et leurs appendicelles, les radicelles. D'autres, et je suis du nombre, réservent le terme *Stigmaria* pour les axes ou rhizomes. Je suppose que, dans la citation ci-dessus, M. Renier a réuni toutes les parties souterraines, car dans le cas contraire je ne pourrais pas confirmer son observation. Les axes sont rares au voisinage de la couche (je laisse de côté, en disant cela, le cas exceptionnel du charbonnage de Marihaye, cité plus haut). Ils deviennent, comme je l'ai dit précédemment, surtout abondants à la limite entre le mur schisteux et le mur gréseux ou psammitique; dans les murs psammitiques, c'est à la limite avec le grès.

On en trouve dans tous les types de roches et à toute hauteur dans les stampes stériles, ainsi que dans les toits. Dans l'immense majorité des cas, ils sont en tel état qu'ils sont évidemment flottés et, partant, arrachés de leur gisement natal et plus ou moins éloignés. Ils prouvent ainsi qu'il y a eu continuellement, durant tout le Houiller, des régions où croissaient, en dehors des cuvettes houillères, des arbres à racines stigmaroïdes, arbres que des phénomènes d'érosion pouvaient entraîner dans les cuvettes houillères. Dans toute hypothèse, ces arbres devaient se trouver en dehors de ces cuvettes, puisque dans mon hypothèse, celles-ci étaient des cuvettes marines, ou d'énormes lacs d'eau douce, et dans l'autochtonie, ce seraient des marais ou swamps, c'est-à-dire des dispositifs géographiques inaccessibles aux phénomènes d'érosion par les eaux courantes, puisque ce qui les caractérise c'est une eau calme et stagnante.

En 1906, M. Renier déclarait (**111**, p. 267) qu'il n'avait pas encore eu l'occasion de rencontrer dans le Houiller productif, mais seulement dans le Houiller inférieur, dans des toits incontestables, des débris de *Stigmaria*. J'ai été plus heureux et j'ai trouvé très souvent, dans des toits, non seulement des radicelles détachées, mais des axes de *Stigmaria*.

Ceux-ci ne sont pas toujours dépouillés de leurs appendices,

comme on l'a dit. Je viens de trouver, au sondage de Klaverberg (charbonnage André Dumont), un *Stigmaria* flotté, étalé à plat avec ses appendices bilatéraux, à 0^m02 au-dessus d'une veinette à 692 m. Pour avoir voyagé si loin de son lieu natal, il fallait que ses appendices fussent bien plus adhérents qu'on ne l'admet d'habitude. Dans ma théorie, on s'explique aisément que les *Stigmaria* du mur soient mieux conservés que ceux du toit. Dans la précipitation fractionnée qui est le fondement de cette théorie, c'est dans le mur que se précipitent les premiers débris végétaux, en même temps que les matières minérales de ce mur. Ce n'est que longtemps après, lorsque la couche aura été déposée, que commencera la formation du toit englobant les débris qui ont échappé aux dépôts précédents et qui pourront donc se trouver dépourvus de toutes leurs radicelles. Un fait que je ne puis m'expliquer, c'est que c'est dans les toits que j'ai vu les plus gros *Stigmaria* que je connaisse. Alors que dans les murs je n'en ai pas trouvé dont le diamètre atteignît 0^m10, même après aplatissement, je possède un échantillon du toit de la veine n° 71 de Beeringen, étage de 727 m. couvert d'un axe aplati de *Stigmaria* ayant au moins 0^m20 de diamètre, dimension de l'échantillon, qui n'est qu'un morceau.

Je pourrais citer une liste interminable de faits, mais je suppose que depuis 1906 M. Renier a été plus heureux, si j'en juge par les deux coupes récentes qu'il a publiées (**112-113**) et où l'on trouve cités, souvent, des *Stigmaria*, non seulement dans des toits, mais dans les stampes stériles qui, comme le dit Renier, ne sont que la continuation des toits, au point de vue géogénique. On trouve le même fait exposé dans la coupe du sondage n° 77 de Beeringen par M. P. Fourmarier (**57**), dans le travail si détaillé de Dawson (**34**) et dans bien d'autres que je pourrais citer.

19e Observation.

Il a été fréquemment question, dans les pages qui précèdent, de murs blanchis ou décolorés. Je pense avoir montré que la teinte n'a rien à donner pour ou contre les deux théories de la formation des gisements houillers. Mais, comme j'ai tenté de faire dans ces pages une sorte de monographie du mur des couches, je crois bon de la compléter en donnant quelques renseignements sur ces murs pâles, encore peu connus dans notre pays. La couleur que je considère comme normale, pour un mur inaltéré, est le gris un peu foncé. C'est de loin la plus commune.

Par un enrichissement aisé à comprendre, en matières charbonneuses, cette teinte devient de plus en plus noire et finit par devenir d'un noir intense. A côté de cela il y a des murs presque blancs, un peu crème. Ils passent, en devenant plus foncés, à la couleur café au lait, puis au bistre de plus en plus foncé, puis au brun, puis au noir brun et finalement au noir intense mat. Ces couleurs ne sont l'apanage exclusif d'aucune espèce particulière de roche du Houiller. De façon générale, j'appelle les murs pâles de la première catégorie : murs gris cendré, réservant le nom de murs bistres à ceux de l'autre catégorie. Ces deux catégories possèdent, en commun, les caractères suivants : les murs argileux y sont plus fréquents que dans les autres teintes de mur, les murs foncés. On y trouve même souvent, surtout dans les murs bistres, des murs gras et onctueux. Dans ces murs argileux, il n'y a aucune trace de feuilletage, mais on y voit souvent des surfaces arrondies, très courbes, luisantes, comme vernissées et couvertes de rides, les faisant ressembler à des surfaces de frottement, mais qui n'en sont pas, vu le défaut de parallélisme des rides. De plus, dans ces murs pâles, les radicelles, petites et étroites souvent, sont d'un noir luisant ou sont revêtues d'une mince pellicule charbonneuse; aussi elles tranchent vivement sur le fond pâle de la roche. Dans les murs très foncés, les radicelles sont généralement plus pâles que la roche. Enfin, un caractère très commun et très frappant de ces murs pâles, c'est d'être riches en sidérose, tantôt en bancs noduleux, tantôt en nodules irréguliers, tantôt en petites oolithes. La texture oolithique est d'ailleurs très fréquente dans les bancs et les nodules de cette sidérose,

Des plaques minces, faites avec les sidéroses les plus pures, m'ont montré, entre nicols croisés, au microscope, que ces oolithes sont des sphérolithes à croix noire.

La teinte bistre si particulière de ces murs n'est pas spéciale au mur. Je l'ai rencontrée, pas très souvent, en pleine stampe stérile, dans des roches diverses, ne renfermant pas la moindre trace de radicelles, et aussi dans ce que j'appelle des murs imparfaits. Ce sont des bancs de roches diverses renfermant assez bien de radicelles transversales, mais qui ne sont pas des murs, parce qu'ils ne sont pas en relation avec une veine, une veinette ou une passée. On peut, dans bien des cas, distinguer aisément une passée d'un mur imparfait. La passée presente tous les caractères d'une veine ou veinette, sauf la présence du charbon. Son mur et son toit sont souvent aussi typiques que

ceux des veines et veinettes. Entre toit et mur il y a une ligne de démarcation nette, souvent rectiligne et soulignée par une différence profonde de teinte, de texture et de fossiles. Mais il y a des passées imparfaites, où la distinction du toit d'avec le mur devient difficile et la limite imprécise; et l'on passe graduellement au mur imparfait. C'est celui qui n'a pas de limites nettes au sommet ni à la base. La base d'un mur est rarement nette et brusque. Les radicelles et la texture de mur diminuent graduellement et disparaissent, et l'on passe à la roche ordinaire. Il y a mur imparfait quand le même fait se présente au sommet du banc ou du niveau à radicelles et que là aussi on passe à la roche ordinaire de stampe, par transition insensible. On peut voir de nombreux cas de ce genre dans les descriptions détaillées de sondages données par divers auteurs belges et par moi-même. Ce passage graduel de la roche de stampe évidemment sédimentaire au mur imparfait, puis au mur de passée, puis au mur de veinette ou de veine est pour moi une autre preuve qu'il n'y a entre tout cela aucune différence essentielle d'origine ni de mode de formation.

Les caractères physiques et chimiques de ces murs pâles, très argileux et gras, m'ont rappelé, la teinte exceptée, les argiles flammées que R. P. G. Schmitz et moi avons découvertes, en Campine, au sommet du Crétacique (Montien). La ressemblance est encore accentuée par la présence, dans ces argiles montiennes, de débris végétaux ressemblant à des fragments de radicelles, orientées en tous sens. Leur état fragmentaire était on ne peut plus certain, ce qui n'a pas empêché de les qualifier de sols de végétation.

D'après les caractères de ces murs pâles, je pense, comme je l'ai déjà dit ailleurs, qu'ils sont le correspondant des roches appelées, dans le bassin de la Sarre, *Tonstein*. Dans cette région, ces roches pâles sont si continues qu'on les utilise comme caractère distinctif de certains niveaux directeurs de la stratigraphie de ce bassin [1].

Quelle est l'origine de ces teintes pâles, contrastant si fort avec la teinte généralement foncée des roches houillères? C'est une grosse question, encore bien peu connue. Je crois avoir

---

[1] On trouvera des détails circonstanciés sur les *Tonstein* dans un travail de P. Bertrand et P. Pruvost. Comme ils déclarent que jamais ces *Tonstein* ne sont des murs, tandis qu'en Belgique c'est le cas de loin le plus fréquent, il serait utile de soumettre nos murs bistres à des études chimiques et pétrographiques, pour voir s'il ne s'agit pas simplement d'une ressemblance macroscopique (**13**).

prouvé qu'on ne peut attribuer ces teintes pâles à des décolorations semblables à celles qu'on observe sous certains marais. Leur aspect étrange a fait naître, dans la Sarre, une théorie aussi originale que peu fondée. On a attribué ces teintes à la chaleur produite par l'incendie de forêts houillères.

Mais la première question à poser, pour élucider le problème, est celle de savoir d'où provient la teinte foncée, noire, du Houiller. Je pense qu'on ne saurait douter que la matière colorante noire soit un précipité formé dans les cuvettes houillères, en même temps que se faisait le dépôt de la matière minérale des roches. Ce précipité provenait des eaux brunes ou noires qui, alors encore plus que maintenant (**116**), devaient remplir les cours d'eau se jetant dans les cuvettes, elles-mêmes remplies de ces eaux chargées d'acides organiques (acide humique, ulmique, etc.). L'origine de ces matières brunes, solubles, était double. La plus grande partie, comme celle des cours d'eau des tropiques, aujourd'hui, provenait du passage des eaux pluviales à travers l'épaisse litière tourbeuse accumulée sur le sol des forêts continentales. Le reste provenait de la macération, dans les cours d'eau et dans les cuvettes, des débris végétaux entraînés et flottés. La précipitation de ces acides organiques se fait, on le sait, sous forme d'une matière floconneuse brune, impalpable, lorsque les acides viennent en contact avec du bicarbonate de calcium ou avec d'autres sels solubles alcalins ou alcalino-terreux. Comme nous l'avons dit et comme nous le démontrerons plus loin, les cuvettes du type que nous étudions ont d'abord été marines. C'étaient des *Relikten-Seen* des mers dinantiennes. C'est sans doute pour cela que les assises inférieures de notre Houiller sont plus riches en roches noires ou noir-bleu et bien plus pauvres en murs pâles que les assises supérieures. Plus tard, quand l'afflux des eaux pluviales a dessalé les cuvettes, leur teneur en sels est peut-être restée suffisante pour précipiter les acides organiques. Divers faits, trop longs à développer ici, me font croire que de puissants massifs granitiques devaient jouer un grand rôle dans les reliefs où les agents d'érosion puisaient les matériaux dont les milliers de mètres de roches houillères sont composés. Dans les climats tropicaux, l'eau de pluie, très chaude et riche en acide nitreux, kaolinise énergiquement les feldspaths et met en liberté, sous forme soluble, les bases alcalines, alcalino-terreuses et ferrugineuses du granite. M. L. Cayeux a déjà montré que l'abondance de feldspath dans les roches houillères (**29**, p. 205) a dû être

pour les eaux de l'époque une riche source de bases alcalines et alcalino-terreuses. Or, ces bases, précipitant les matières organiques brunes, on pouvait, dans les bassins hydrographiques alimentant les cuvettes houillères, avoir les mêmes conflits chimiques que ceux que l'on observe actuellement dans le bassin de l'Amazone. On sait que là les eaux alcalines du Rio Blanco précipitent les eaux brunes des autres affluents du fleuve. Par suite de la variété de constitutions géologiques des régions entourant les bassins houillers, il pouvait y avoir des affluents dont les eaux auraient aussi présenté une composition chimique différente, provoquant, soit dans le cours d'eau lui-même, soit dans les bassins, des réactions chimiques différentes. C'est sans doute à des facteurs locaux qu'il faut attribuer les teintes extraordinairement pâles de certaines roches houillères que j'ai signalées (**139**). L'abondance de la sidérose sphérolitique dans les murs pâles doit être en relation avec la teinte pâle de la roche. La question de l'origine de ces teintes pâles reste ouverte, et en vue de connaître leur extension, dans le temps et en surface, j'ai soin de noter leur présence dans les descriptions stratigraphiques que j'ai l'occasion de faire. Dans les figurés de stampes normales je les indique par un signe spécial (**142**).

CHAPITRE II.

Sédimentation et stratification dans le Houiller.

La houille, même dans les bassins les plus riches, ne constitue guère que 5 % de la masse du terrain houiller. Mais l'intérêt scientifique et industriel de ces 5 % est tel qu'ils semblent avoir monopolisé l'attention de ceux qui se sont occupés de l'étude de ce terrain. Quant au reste, le plus souvent on n'en parle pas, ou si l'on en parle, c'est à croire que les lois les plus élémentaires de la géologie ne sont pas applicables à ce terrain. Que des paléobotanistes aient agi ainsi, il n'y a rien d'étonnant, mais que des géologues, et non des moindres, soient tombés dans ce travers, il y a là de quoi nous surprendre. Nous ne concevons pas qu'on puisse formuler une bonne théorie de la formation des gisements houillers si l'on ne s'occupe pas de tout ce qu'il y a d'important dans ces gisements. Notre but, dans ce chapitre, est de démontrer que tout dans le Houiller est d'origine sédimentaire et, partant, formé d'après les lois de la sédimentation aqueuse mécanique, ce qui est l'idée mère de toutes les théories

allochtones. Pour faire cette démonstration, nous adopterons la même marche que dans le chapitre précédent, c'est-à-dire que nous examinerons les divers points du problème, dans une suite d'observations.

1re Observation.

Une des choses les plus importantes de notre travail est l'étude de la stratification des gisements houillers. La stratification, en effet, est l'allure éminemment caractéristique des formations sédimentaires marines. Je suis bien obligé de rappeler cela, puisque beaucoup d'auteurs de théories de formation sur place semblent avoir perdu de vue cette propriété fondamentale des sédiments mécaniques. Je me hâte d'ajouter que la stratification n'étant pas due à la présence de sels dans l'eau de la mer, une masse d'eau douce ayant les autres caractéristiques d'une mer, c'est-à-dire son étendue, sa profondeur, son fond en pente très douce dans les larges zones de sédimentation terrigène, ses périodes de grande agitation alternant avec des périodes de calme, se comportera comme une mer. Aussi, dans ce travail, quand nous parlerons de mers, de cuvettes marines, ou de bassins marins, nous ne ferons pas nécessairement allusion, sauf mention expresse, à une mer salée, mais à une masse d'eau ayant les autres caractères précités d'une mer.

Les roches houillères sont constituées, pour plus des 9/10, de sédiments argilo-sableux. Je pose en fait que pour des sédiments de cette nature, la stratification du Houiller, dans les bassins du type que nous étudions, est une des plus belles et des plus régulières que nous connaissions. J'ajouterai même que cette stratification ne le cède pas à celle de roches de même genre, déposées dans de vraies mers salées. La caractéristique essentielle de la stratification de sédiments d'origine mécanique c'est le parallélisme des joints séparant les couches successives. Mais on sait aussi que le parallélisme le plus parfait n'est atteint que dans certaines conditions de finesse de grain des sédiments, de profondeur d'eau, de calme de cette eau, de pente du fond. On peut passer, par les transitions les plus graduelles, à des allures irrégulières et presque dépourvues de tout parallélisme. Et ce qu'il y a d'intéressant, c'est que de l'étude des sédiments et de leur allure on peut déterminer, avec un grand degré de certitude, les conditions géographiques du milieu où s'est produite la sédimentation. Savoir si des sédiments se sont formés dans un marais ou swamp d'un côté ou dans une cuvette marine (*sensu lato*) n'est qu'un jeu.

A cet égard, que peut-on conclure des faits observés, en parlant d'abord des stampes de roches stériles comprises entre les couches de charbon? Les allures des strates de roches stériles sont telles qu'il est tout à fait impossible, pour un géologue, d'admettre que ces roches se soient formées dans un marais ou dans une masse d'eau ayant une profondeur assez faible pour que des plantes puissent y vivre et prospérer. Cette profondeur ne peut guère, en effet, dépasser 5 mètres. Si la forêt est encore vivante au moment où commence la formation du toit, par lequel débute une stampe stérile, cette forêt s'opposera à la pénétration des sédiments, qui resteront confinés sur les bords de la cuvette. Si la forêt est morte, le peu de profondeur d'eau du marais empêche complètement l'agitation indispensable pour que les divers matériaux sédimentaires amenés dans le marais puissent se mélanger intimement et être entraînés assez loin pour envahir toute la surface des gisements houillers, surface qui peut atteindre des milliers de kilomètres carrés. Dans la nature actuelle on voit que cette agitation n'est obtenue que dans la mer. Dans nos lacs actuels, quelques-uns seulement présentent des tempêtes, le Tanganyka, le Baïkal, par exemple, et ce sont des lacs aussi profonds que des océans. Aussi il ne peut être douteux que, dans un marais, les sédiments resteraient localisés au voisinage des bords et qu'il y aurait un rapide classement des matériaux sédimentaires : les cailloutis se déposant d'abord, tout contre le bord, les sables ensuite et les argiles, qui pourraient aller plus loin. Jamais, dans nos bassins, on n'a signalé un seul exemple d'une disposition semblable dans les matériaux formant une stampe stérile.

Il y a, à cet égard, un fait que tous les auteurs de théories de formation sur place ont complètement perdu de vue et qui est cependant bien frappant et bien certain. Si leurs théories concernant les marais houillers étaient fondés, les stampes stériles devraient présenter les allures qu'on leur connaît dans les petits bassins limniques du Centre de la France. Ces allures seraient caractérisées par l'absence ou la rareté du parallélisme, par les stratifications diagonales et entrecroisées, lenticulaires, par les discordances de stratifications, l'abondance des conglomérats et grès grossiers et la rareté des schistes fins. On peut même dire que ces irrégularités devraient encore être exagérées dans les marais houillers, car, enfin, dans les bassins français en question, la sédimentation a été produite, non pas dans des marais, mais dans des lacs parfois bien profonds. Or, si dans ces lacs,

les deltas, dont M. Fayol a si bien démontré l'existence, n'ont pas subi de mouvements assez violents pour être dispersés, ils en auraient encore beaucoup moins éprouvé dans un marais. Sur tout le pourtour de ces marais on devrait donc retrouver des traces de ces deltas. Or, on n'en a jamais signalé dans aucun des grands bassins, pour aucune des nombreuses stampes stériles qu'ils possèdent. Ces deltas devraient avoir été si nombreux qu'on ne saurait admettre que des érosions postérieures les auraient détruits tous.

Comme preuve à l'appui de ce que je viens de dire, on peut rappeler que, dans les lacs du Nord de l'Italie, il n'y a pas assez d'agitation pour disperser les deltas torrentiels qui festonnent leurs rives, au débouché de chaque vallée latérale.

Comme nous l'avons dit au début de cette observation, les allures des couches du Houiller ne rappellent que très exceptionnellement celles de formations de deltas torrentiels. C'est ce que nous allons démontrer, pour ceux qui l'auraient oublié.

Pour prendre un exemple concret, je dirai que la régularité de la stratification dans le Houiller est au moins aussi grande que celle d'un terrain dont personne n'a jamais contesté l'origine marine : je veux parler du Dévonien inférieur du bord Sud du bassin de Dinant, qui, à tous égards, si l'on fait abstraction du charbon, peut se comparer au Houiller.

De part et d'autre, il y a un complexe de plusieurs milliers de mètres de puissance, constitué d'une alternance continuelle de roches siliceuses : conglomérat, arkose, grès, quartzite, et de roches argileuses : schiste, phyllade, grauwacke, avec rares bancs de calcaire plus ou moins pur. Dans ces complexes, toutes les roches ne sont pas également régulières, à joints parallèles. Conformément à la règle, les roches argileuses sont les plus régulières; les conglomérats sont les moins continus et les moins parallèles; les grès sont intermédiaires, comme régularité d'allures. En tous cas, s'il y a une différence dans la régularité des bancs, dans leur continuité et la persistance de leurs caractères, dans l'épaisseur, elle est certes en faveur du Houiller. La présence de quelques petites couches de combustible très impur, dans l'Eifel, dans les Ardennes françaises (Etion) et sur le bord Nord du bassin de Dinant, accentue encore la ressemblance entre les deux terrains. Il en est de même entre le Houiller et le Dévonien supérieur de Belgique. Ce Dévonien supérieur (Famennien), en effet, entièrement marin dans ses parties inférieures, s'est probablement dessalé au point que son sommet nous permet de supposer qu'il s'est déposé dans un lac avec poissons

d'eau douce et petites couches de combustible impur (Condroz). Si nous comparons le Houiller au Famennien, au point de vue de la continuité d'épaisseur, nous voyons que ce critérium de régularité est tout en faveur du Houiller. En effet, le Famennien, qui a 600 mètres de puissance dans le centre du bassin de Dinant (Condroz), n'en a plus que 80 sur le bord Sud du bassin de Namur (Huy) et $2^{m}50$, puis 0 dans la vallée de la Méhaigne, sur le bord Nord du même bassin. Le long de ce bord Nord, l'épaisseur varie de 0 (Méhaigne) à 85 m. (Vezin), puis à 6 m. (vallée de l'Orneau), puis 30 m. (vallée de la Sennette). Les variations de puissance du Houiller n'ont rien qui approche de différences pareilles de puissance.

Mais où la régularité des stratifications houillères éclate surtout, c'est dans les détails. Certains auteurs ont contesté cette régularité en se basant sur des cas exceptionnels ou en montrant des défauts de parallélisme. En réalité, le parallélisme mathématique et continu n'existe pas dans la nature géologique. Dans le Houiller, grâce aux facilités d'étude incomparables qu'offrent les exploitations minières, on peut découvrir les petits défauts de régularité que présentent les couches. Les plans et coupes miniers sont là pour permettre de les découvrir. Pour les autres terrains, où les points d'observation sont parfois écartés de plusieurs kilomètres, on suppose la régularité dans les intervalles, mais on serait bien embarrassé de la prouver. Les variations connues dans les terrains qui ont été étudiés en détail, le Calcaire Carbonifère, par exemple, sont là pour nous montrer des irrégularités et des défauts de parallélisme bien autrement grands que ceux du Houiller. On a beaucoup discuté la question du parallélisme des veines et veinettes de houille. Au début, certains auteurs ont exagéré ce parallélisme, et c'est avec raison que des auteurs familiarisés avec le Houiller : J. Stevenson (**129**) et J. S. Newberry (**97**), ont montré que le parallélisme n'a rien d'une donnée mathématique. Chez nous, A. Briart (**22**, p. 145) a montré que les stampes varient, augmentent ou diminuent, mais que ces variations, se faisant en sens inverse, rétablissent un parallélisme sur lequel il est permis de compter. C'est bien là la note vraie. A travers le Houiller il y a quelques grands niveaux constants et parallèles entre lesquels des variations locales dans un sens ou dans l'autre ne détruisent pas leur parallélisme. Ce fait n'est d'ailleurs pas spécial au terrain houiller. On l'observe, au même degré, dans des formations essentiellement marines, telles que les couches de limonite oolithique du

grand gisement bajocien du bassin ferrifère de la Lorraine et de toutes les formations marines où des exploitations minières intensives permettent d'étudier l'allure détaillée des strates.

La conclusion à tirer de ces faits, c'est qu'on ne saurait admettre que les roches stériles du terrain houiller, donc près de 95 % de sa masse, se soient déposées dans des bassins aussi peu profonds que des marais, mais bien dans des bassins qui présentaient tous les grands caractères des bassins marins.

2e Observation.

Nous venons de voir quelle belle stratification nous montrent les roches stériles du Terrain houiller. Est-ce que les veines de charbon présenteraient des caractères différents? Tous ceux qui ont eu l'occasion de voir un front de taille d'une belle veine de charbon seront d'avis qu'il n'y a aucune stratification plus fine, plus régulière et plus parallèle que celle des veines de charbon. Comme le fait est capital et gros de conséquences au point de vue de la formation de ces veines, nous allons nous y arrêter et nous examinerons d'abord les veines macroscopiquement.

La première chose que l'on remarque, c'est le parallélisme remarquable, parfois sur des étendues considérables, des deux joints de stratification qui limitent la couche, en la séparant de son toit et de son mur. Grâce à ce parallélisme, il y a de très nombreuses veines dont la puissance est d'une constance remarquable. On pourrait en citer d'innombrables exemples, mais ce serait de l'érudition trop facile. Ce sont surtout les petites veines et même les veinettes qui sont les plus régulières et, chez nous, on les observe surtout dans les assises inférieures du Houiller. Je ne citerai qu'un exemple, c'est celui de la Grande Veine d'Oupoye, qui, au charbonnage d'Abhooz à Herstal, sur plus de 5 kilomètres, conserve une puissance régulière de $0^{m}50$. Comme dans le cas des roches stériles, ce n'est pas à dire que ce parallélisme soit parfait partout et toujours. Il y a des exceptions de tout genre, mais, ce qu'il y a d'essentiel, c'est que ces exceptions ne sortent jamais du cadre où sont confinées les allures des terrains de sédimentation marine mécanique les plus typiques. En effet, ces exceptions présentent les caractéristiques suivantes : des veines ou veinettes augmentent ou diminuent de puissance, parfois au point de disparaître. Mais il est rarissime que ces changements de puissance se fassent brusquement, sur de petites distances. Les modifications sont lentes, graduelles et systématiques, au point que pour les remarquer il faut comparer des points plus ou moins écartés. Dans d'autres cas, des veines

puissantes voient leurs divers lits se séparer insensiblement, par l'épaississement des intercalations stériles qui les séparaient, et il se forme alors deux ou plusieurs veines distinctes, phénomène dont nous avons déjà parlé précédemment (p. 79). J'ai cité un cas où le lit supérieur d'une couche l'abandonne pour aller s'accoler à la base d'une veine plus élevée (**131**, p. 12). On voit aussi un lit terminal (sommet ou base) de couche s'en écarter plus ou moins, puis revenir joindre cette couche, de façon à embrasser une lentille de roches stériles. J'en ai décrit un cas intéressant (**137**, p. 71 et pl. III). Les allures lenticulaires sont d'ailleurs bien connues dans tous les dépôts marins.

Il n'y a pas seulement que l'épaisseur des veines qui soit bien régulière. Beaucoup de veines sont très complexes et leurs diverses parties ont des allures d'une régularité étonnante et d'une constance et d'une extension qui en font des dépôts sédimentaires typiques, puisque ces trois caractères sont les trois plus importants des sédiments marins.

Il est commun de voir des couches formées de plusieurs lits, souvent d'un combustible différent par l'aspect, le clivage, la proportion de cendres ou de matières volatiles, la nature du combustible (*cannel-coal*), conserver ces lits avec les mêmes caractères et avec la même puissance sur de vastes étendues, et il en est de même pour les intercalations stériles qui séparent les divers lits. Or, ces intercalations présentent une grande variété de caractères : couleur, cohérence, fossiles, nature de roche, etc. Nous avons déjà cité la persistance du petit banc de pierre intercalé dans la couche Dure-Veine du pays de Liége. La couche Horpe présente un petit lit de vrai *cannel coal* dans sa masse, très constant dans les charbonnages du Borinage. La couche Dix-Paumes, la plus importante du bassin de Charleroi [1], possède toujours un lit ou un cordon de nodules ou des nodules isolés, à lignes de sidérose noire, pisolithique le plus souvent, appelé par les ouvriers : « clou de Dix-Paumes ». Une veine du même bassin a reçu le nom de Veine anglaise, parce que, dans presque toute l'étendue du bassin, elle montre, au sommet, un lit de *pseudo-cannel-coal* (**136**). Les noms donnés par les mineurs aux veines proviennent bien souvent de particularités de tous genres qu'ils ont reconnues comme caractérisant ces veines. Certaines veines sont connues pour être composées, habituellement, de nombreux lits (veine à laies, tant-de-laies). D'autres, au contraire, malgré leur puissance, ne sont

---

[1] M. Legraye a décrit des concrétions de sidérose pisolithiques semblables de la veine Jeanne, à Maurage (**90**).

qu'en un lit, telle la veine Masse du bassin de Charleroi, qui partout était en un seul lit massif, épais parfois de 1 mètre. On pourrait multiplier à volonté ces exemples, mais c'est bien inutile, tellement la chose est connue.

Si l'on examine de plus près un lit donné d'une veine ou une veine simple, on y aperçoit aisément plusieurs espèces de combustible. Nos connaissances sur ces espèces, très sommaires pendant longtemps, ont pris depuis quelques années, entre les mains de spécialistes, un développement considérable, surtout depuis l'emploi de nouvelles méthodes d'investigation microscopique, dont nous exposerons ci-après les résultats intéressant notre sujet. Qu'il nous suffise de dire ici une chose que d'autres ont déjà dite avant moi, c'est que les minces lits de ces diverses variétés de charbon qui constituent une veine sont admirablement stratifiés. Jamais personne n'y a vu quoi que ce soit, oblique ou transversal, à la stratification. Tous les lits sont absolument parallèles entre eux et avec la stratification de la couche et des roches encaissantes. Si l'on suit de très près les lits alternant de charbon brillant (vitrain), ou de charbon mat (durain), ou de charbon fibreux (fusain), ou de minces lames de matières terreuses séparant divers lits, tout cela peut se voir, malgré la minceur, sur des étendues considérables et avec les mêmes dimensions. Je le répète, il n'y a pas de stratification plus fine et plus belle que celle d'une veine de charbon. Je ne comprends pas qu'un géologue, après avoir vu cela, sur place, et après avoir constaté que partout c'est la même chose, puisse encore douter qu'on se trouve là en présence d'un sédiment formé comme les sédiments marins les plus typiques.

Mais à l'heure actuelle, nous n'en sommes plus réduits à étudier la houille seulement au point de vue macroscopique. Pendant longtemps, la houille a défié les efforts de ceux qui tentaient de la rendre transparente, pour la soumettre au microscope. Les dissolvants et les réactifs les plus variés restaient impuissants. Mais des circonstances locales heureuses et l'habileté de certains observateurs avaient déjà réussi à lever un coin du voile qui nous cachait la constitution intime de la houille. Les résultats obtenus par Reinsch et von Gümbel, mais surtout ceux de B. Renault et de C.-E. Bertrand, nous avaient déjà appris l'origine surtout de certains charbons spéciaux ou schistes bitumineux. Mais pour les couches de charbon ordinaire, je citerai comme particulièrement importante, pour le sujet qui nous occupe, l'étude détaillée, lit par lit, que W. S. Gresley a faite d'une couche épaisse, le *Main coal* du bassin de Leicester (**68**).

Beaucoup de déterminations des objets signalés dans ces lits, observés avec des moyens de fortune, sont sujettes à caution, mais les faits principaux restent et témoignent d'un grand esprit d'observation de la part de l'auteur. En effet, dans cette couche d'environ 5 mètres d'épaisseur, il n'a pas reconnu moins de 104 divisions qu'il décrit et figure, en notant, le cas échéant, leurs variations latérales dans le bassin. Ces divisions sont caractérisées, les unes par des lits de combustibles différant, tant par leurs caractères physiques que chimiques et dont les mineurs de la région ont déjà fait la distinction, en leur appliquant des noms particuliers. Que ces combustibles soient différents, les analyses que l'auteur en donne suffisent à le prouver. Et pour le dire en passant, ces analyses sont un nouvel exemple du fait, que j'ai signalé depuis longtemps, que des charbons de composition très différente peuvent voisiner dans la même couche, preuve que leur différence est originelle et ne provient pas d'un métamorphisme postérieur. Les trois variétés de charbon analysés ont, en effet, donné à l'analyse des teneurs en matières volatiles de 34, 41 et 50 % et des teneurs en cendres de 2, 10 et 13 %.

Il note aussi les restes organiques, surtout les macrospores, de nombreuses plantes étalées à plat, Sigillaires, *Stigmaria*, des lits plus ou moins terreux, parfois même, fait unique, avec *Carbonicola*. Il note aussi la présence d'objets dont il est difficile de se faire une idée d'après sa description et qui pourraient être des troncs d'arbres-debout, dit-il. Ce serait là le seul cas connu de pareil fait. Mais ce ne sont probablement que de gigantesques *cone-in-cone* longs de 7 pieds, coniques, avec un diamètre de 7 pieds à la base et de 0 m. 45 seulement au sommet. De plus, à l'intérieur, la stratification du charbon se poursuit sans interruption, et en réalité ce sont de simples surfaces coniques fortement striées en long, comme dans les *cone-in-cone* de charbon (**154**).

Mais dans ces dernières années, nos connaissances sur la structure microscopique des houilles ordinaires et de l'anthracite ont fait d'immenses progrès, grâce à l'emploi de nouvelles méthodes bien connues et aux travaux de nombreux spécialistes, parmi lesquels on peut citer, hors pair, M. A. Duparque. Ce dernier a publié sur cette question, et beaucoup d'autres connexes, des travaux si nombreux que nous devons savoir gré à M. Marlière d'en avoir fait un bon résumé (**92**), auquel nous emprunterons, parmi les conclusions auxquelles est arrivé M. Duparque, celles qui ont rapport à notre sujet.

Nous montrerons, après l'exposé de chaque conclusion, l'application qu'on peut en faire au sujet des idées que je défends ici (**92**, p. 39).

1° Conditions physiques de la formation de la houille.

1. La houille est une roche sédimentaire, au vrai sens du mot.

C'est la conclusion à laquelle j'arrive, dans ce travail, par des voies tout à fait différentes, et l'on comprend l'importance de l'appui qu'apporte à ma thèse l'étude micrographique qui, pour la première fois, nous permet de dire ce qu'est réellement la houille.

2. Les houilles étudiées ne se sont pas formées en place, sur le sol même de la forêt houillère, mais ont subi un certain transport, qui s'est effectué en eaux calmes et qui devait consister en un flottage assez lent.

3. De l'absence de tassement des corps figurés, de leur disposition fluidale et de la présence de fentes de retrait, dans la pâte, on conclut que celle-ci a été successivement fluide et pâteuse, colloïdale, avant de prendre une consistance ferme.

4. Pour qu'une roche combustible puisse se former, il faut que la quantité d'eau en présence soit suffisamment faible pour empêcher l'élimination trop rapide des parties solubles. C'est en effet à la précipitation des produits solubles d'origine humique qu'est due la substance fondamentale (pâte) d'une houille.

Parmi ces trois dernières conclusions, il y en a qui me paraissent complètement d'accord avec la thèse que je soutiens et qui renforcent encore mon argumentation. Je note comme particulièrement suggestif, à cet égard, le début de la conclusion 3. Il semble y avoir désaccord entre ce que j'ai dit au sujet du transport et ce qu'en dit M. Duparque. Mais je crois que le désaccord résulte surtout d'un malentendu.

Il n'a pas encore expliqué en détail comment il conçoit l'ensemble de la théorie de la formation houillère. Il le fera sans aucun doute dans un mémoire dont il a déjà annoncé la publication. En attendant, par des extraits pris dans ses nombreux travaux, on peut déjà savoir son opinion sur les points les plus importants du problème. Voici ces extraits par lesquels j'espère avoir saisi et rendu aussi exactement que possible ses opinions. L'étude micrographique des houilles est destinée à jeter une telle lumière dans le problème que nous traitons, qu'on m'excusera de m'étendre ici, d'autant plus que cela me fournira l'occasion de développer aussi ce que je pense sur quelques côtés de ce problème.

A) M. Duparque estime que « (les) murs à *Stigmaria* (qui) sont incontestablement d'anciens sols de végétation » (**49**, p. 225). Il répète d'ailleurs cela ailleurs.

B) « Toutes les houilles étudiées à ce jour sont bien des roches dont les caractères allochtones sont incontestables » (**53**, p. 178).

« Les deux grands types de charbons... ont pu être réalisés grâce à des phénomènes de classement qui ont pu avoir lieu au cours du transport des débris végétaux » (**52**, p. 179).

« C'est également la notion d'un transport qui permet d'expliquer les faits suivants (de classement), qui sont absolument constants » (**49**, p. 225).

C) « Il existe, dans notre bassin houiller, des couches de houille très importantes, formées presque uniquement par l'accumulation de feuilles des végétaux houillers, en des points déterminés » (**50**, p. 109).

D) « Toutes les houilles, sans exception, sont des roches essentiellement stratifiées » (**53**, p. 177).

Nous allons reprendre maintenant ces quatre points en montrant comment ils se concilient avec ce que nous exposons dans ce travail.

A) En considérant le mur comme un sol de végétation en place, M. Duparque se borne à adopter l'opinion courante, car nulle part je n'ai vu, dans ses travaux, d'étude du mur. Sa théorie sur la formation des gisements houillers est donc hybride, comme l'ont été, au début de leurs études, les opinions de Grand'Eury et du R. P. G. Schmitz. Dans ce cas, ce genre d'opinion est illogique et j'aime à espérer qu'après avoir lu ce que j'ai écrit sur le mur, M. Duparque reconnaîtra que le mur est aussi, avec tout ce qu'il contient, un sédiment de transport. Sinon il devrait, par une évolution logique, faire, comme les deux savants précités, devenir autochtoniste, même pour la formation des couches de combustible. Aucun géologue ne saurait nier que dans notre type de bassin et dans celui encore plus marin du type mississipien il y ait une liaison telle entre le mur, la couche de charbon et le toit, qu'elle implique une communauté d'origine [1]. Admettre que le mur est en place, c'est

[1] Il semble y avoir contradiction entre ce que je dis ici du lien entre la couche et son mur et ce que j'en disais page 85. Mais là je faisais allusion au lien tel que l'entendent les autochtonistes et ici je parle du lien tel que je l'entends, c'est-à-dire que mur et veine dérivent des mêmes phénomènes de transport et de classement.

aussi admettre que la couche est en place. Cela saute aux yeux. Comment, il y aurait de nombreuses et énormes surfaces de sols de végétation, remplies de parties souterraines de plantes, et l'on ne nous dirait pas ce que sont devenues les autres parties, bien plus considérables de ces plantes, les parties aériennes! Mais il y aurait au-dessus de ces sols de végétation d'épais dépôts formés de parties aériennes de plantes et on les ferait venir d'immenses forêts croissant ailleurs! Cela semble impossible. Comment se refuser, dans l'opinion hybride, à voir la liaison entre la couche et son mur, en voyant que toujours la matière végétale transportée serait allée se déposer sur un sol de végétation, dans tous les bassins et pour presque toutes les couches, veinettes ou passées. Si le mur est en place, la veine l'est aussi, et la réciproque est vraie. Or, M. Duparque a démontré à suffisance de cause que la houille n'est pas en place, mais transportée; donc le mur est aussi transporté.

B) J'ai réuni tous ces extraits de façon à nous permettre d'avoir l'opinion de M. Duparque sur le point capital du problème, lequel est de savoir si oui ou non la houille est un sédiment transporté.

Tout le reste n'est que du détail. C'est un point de détail que de savoir où et comment vivaient les plantes dont les restes ont été transportés. C'est encore un point de détail de savoir pourquoi et comment les végétaux ont été arrachés à leur lieu natal. C'est du détail de savoir comment et par quoi s'est fait le transport des matériaux arrachés. Enfin, c'est du détail de savoir quand et comment les matériaux transportés se sont sédimentés, opération que l'on confond souvent, à tort, avec la précédente.

Les partisans de l'allochtonie peuvent différer sur ces divers points, mais en adoptant l'idée mère du transport, ils s'écartent radicalement de ceux qui croient que tout s'est passé à l'endroit où nous trouvons maintenant la houille. Mais cependant, à part cette différence fondamentale, il y a bien souvent, entre autochtonistes et allochtonistes, des communautés d'idées insoupçonnées. En voici la preuve : Quand je vois l'étude merveilleuse de précision et de fini que les paléobotanistes ont achevée; quand je vois combien ils en savent sur la morphologie et l'anatomie de la flore houillère, il me semble qu'il est impossible d'admettre qu'ils se soient trompés quand ils ont déduit de tout cela des concepts sur la géographie botanique de l'époque. J'admets donc les caractères de cette flore; j'admets que la plupart des

plantes ont vécu dans des marais, d'autres, bien plus rares, dans des climats secs. J'admets cela et bien d'autres choses encore; mais ce que je refuse d'admettre, c'est que cette forêt houillère, dont la physionomie a été popularisée par la plume, le dessin et même le panorama, ait vécu à l'endroit où l'on trouve maintenant des couches de houille. Sur ce point, nous sommes bien d'accord avec M. Duparque, si j'en juge d'après le schéma où il figure la forêt houillère, comme située en dehors de la cuvette où se déposait la houille et en bordure immédiate de celle-ci. Que la forêt commençât à la lisière de la cuvette, je l'ignore, et c'est un point de détail dont nous aurons bien de la peine à avoir le dernier mot. En effet, les érosions ont enlevé, dans le Nord-Ouest de l'Europe, la presque totalité des bordures des bassins houillers, et c'est un problème de paléogéographie bien ardu d'essayer de reconstituer l'extension, le relief et les conditions biologiques des régions qui entouraient ces bassins. M. Duparque admet le transport, un certain transport, dit-il (**92**, p. 39). Ce transport a dû nécessairement varier beaucoup. Très faible pour les débris venant de la lisière de la forêt longeant le bassin houiller et se déposant près du bord de celui-ci, le transport pouvait devenir énorme pour les débris venant de régions éloignées de la forêt et allant jusqu'au centre du bassin. Ceux-ci, en effet, tout réduits qu'ils sont par les érosions, sont encore considérables. A l'époque actuelle, les bois flottés que le Mississipi reçoit des Montagnes Rocheuses par ses affluents et qu'il mène au golfe de Mexique, saisis par le Gulf-Stream, vont échouer sur les côtes de Norvège et ont ainsi subi un sérieux transport.

Il est un point sur lequel il y a désaccord entre M. Duparque et moi : c'est sur l'épaisseur de la couche d'eau dans laquelle se déposait la houille. Il considère cette couche comme mince, et en conséquence, un bassin houiller, pour lui, est un marais ou une lagune, ce qui est déjà plus qu'un marais. Pour moi, au contraire, ce doit être une cuvette marine (*sensu lato*), donc autrement profonde qu'un marais.

Le marais, comme le conçoit M. Duparque, échappe à plusieurs objections, que j'ai déjà exposées et que j'exposerai encore, contre le concept du marais des autochtonistes. Mais il présente assez d'objections sérieuses pour qu'il me soit impossible de l'adopter. Je renvoie, pour la discussion concernant ces objections, aux passages de mon travail où je discute la question de profondeur d'eau des bassins houillers en formation.

L'argument sur lequel se base M. Duparque est très important. En effet, dit-il (**46**, p. 448), si la quantité d'eau était consi-

dérable, par suite de la diffusion rapide des produits solubles, les réactions devraient se poursuivre jusqu'au bout et transformer complètement les matières végétales en gaz carbonique, en méthane et en eau. La réaction à laquelle il fait allusion ici est la transformation et la solubilisation des substances cellulosiques des végétaux. C'est grâce à cette transformation que se forme une sorte de gelée, point de départ de la production de la pâte fondamentale qui joue, dans beaucoup de houilles, le rôle que M. Duparque a bien mis en évidence.

Nous examinerons cette objection plus au long quand nous parlerons de la houillification. Nous nous contenterons de dire ici que toute la question est de savoir si les apports de matières végétales et de produits humiques solubles n'étaient pas tels qu'ils pouvaient contrebalancer les pertes que la fermentation pouvait provoquer.

L'afflux, dans les cuvettes houillères, de produits solubles, acides, toxiques pour les bactéries, devait être tel que les eaux devaient être anaérobies et que la fermentation devait en être considérablement ralentie. Ce facteur, comme j'essaierai de le montrer, au chapitre de la houillification, me paraît avoir joué un rôle considérable. L'eau des cuvettes devait, de plus, être très calme au moment du maximum de fermentation, car elle ne devait être agitée que durant la phase cyclonique d'érosion continentale.

M. Duparque, à ce propos, cite aussi un phénomène intéressant : c'est celui du rouissage du lin (**46**, p. 448). Cette opération, dit-il, aboutit à la destruction des matières cellulosiques, qui disparaissent complètement, par suite de la diffusion de la solution formée dans l'eau en excès.

Les choses ne se passent pas aussi rapidement. Le rouissage, qui en Belgique se pratique surtout dans la Lys, donne naissance à une grande quantité de produits qui, malheureusement, ne disparaissent pas complètement. Ils infectent la rivière, et pour éviter leur passage à travers les grandes villes, on a dû établir, en amont de Gand, à Afsné, un barrage au moyen duquel on envoie ces eaux dans un canal de dérivation, le canal de Schipdonck, long d'environ 60 km., débouchant dans la mer à Heyst (écluses). Quand on regarde ce canal à l'époque du rouissage, on le voit rempli d'une eau noire et puante, jusqu'à son débouché. Jadis l'agitation qui règne continuellement sur la côte belge, ne fût-ce que par le jeu des marées, dispersait ces eaux au loin. Mais depuis la création du môle de Zeebrugge, au Sud-Ouest, il s'est formé derrière ce môle une sorte d'anse

calme où ces eaux se déversent. En conséquence, il se dépose dans cette anse et sur la côte, jusqu'à Heyst, une couche plus ou moins épaisse d'une matière gluante, noirâtre et puante. Evidemment, il y a eu des pertes en route, mais l'apport de cette gelée humique dans les bassins houillers n'était-il pas suffisant pour pouvoir amener dans les cuvettes houillères assez de matière pour constituer, en grand, ce que nous voyons se faire en petit à Heyst?

Les phénomènes de classement que signale M. Duparque (**49**, p. 225) sont de très grande importance, car, comme il le dit, seul un transport lent peut les avoir produits.

C) Le fait que M. Duparque a bien montré, dans de nombreux travaux (**50-51**, notamment), que, dans la série des charbons à haute teneur en matières volatiles, de nombreuses couches qu'il a étudiées sont presque entièrement formées d'un petit nombre de débris végétaux, cuticules de feuilles et exines de spores, ce fait est la plus définitive des condamnations de la forêt sur place des autochtonistes : une forêt uniquement formée de feuilles et de spores! Et ces veines sont, au point de vue géologique, du même type de gisement, avec toit et mur, que les autres veines.

D) M. Duparque se déclare hostile à la théorie allochtone de Fayol, à cause du tourbillonnement qu'elle implique et qui est contredit par l'horizontalité, la finesse de stratification et l'absence de stratification fluviatile. Ce n'est pas la première fois qu'un jugement semblable est porté, mais je dois faire observer qu'il entame moins la théorie de Fayol que l'application qu'on a voulu en faire à d'autres types de bassins que ceux pour lesquels elle avait été émise (**52**, p. 24).

L'étude magistrale de Fayol sur le bassin de Commentry avait été tellement brillante qu'un critique, cependant fin et averti entre tous, M. A de Lapparent, a cru qu'on pouvait appliquer les théories de Fayol partout, *ne varietur*. Malgré le talent avec lequel il s'est attelé à cette besogne, il n'a eu aucun succès. Les allures des strates de nos bassins houillers sont si nettement différentes de celles d'un dépôt de delta, que son insuccès était aisé à prévoir. Ce qu'il faut retenir du travail de Fayol, pour l'appliquer chez nous, c'est uniquement l'idée mère du transport et la lumière que ses expériences et ses observations ont jetée sur beaucoup de particularités du terrain houiller en général.

En montrant l'admirable stratification microscopique de la

houille de nos bassins, M. Duparque a définitivement condamné toute tentative d'application de la théorie de Fayol à nos bassins. Mais une théorie ne devient pas mauvaise parce qu'on en a fait une mauvaise application.

Les travaux de M. Duparque abondent en superbes microphotographies qui montrent la stratification exceptionnellement fine et régulière de la houille, confirmant ainsi ce que l'examen macroscopique permettait de dire. Il en est de même d'ailleurs des photos des autres spécialistes, de M. Legraye, notamment (**89**).

3e Observation.

La régularité d'épaisseur des couches de charbon a comme corollaire inévitable que les deux joints qui les séparent des roches encaissantes doivent être des plans réguliers. Nous avons déjà montré (p. 115) qu'il en est bien ainsi pour le joint inférieur, entre la couche et son mur; il nous reste à prouver qu'il en est de même pour le joint supérieur, entre la couche et son toit. Cela fait, nous pourrons en déduire que cette régularité est inexplicable dans la théorie autochtone, comme aussi les caractères du joint supérieur. Dans la théorie adverse, l'explication est très aisée.

Le joint qui sépare la couche de son toit est un plan dont la grande régularité est d'observation courante dans les régions où les veines ont été peu ou pas dérangées de leur position originelle. Cette régularité est d'autant plus grande que le toit est formé de roches plus fines et plus argileuses, car dans le cas contraire, avec un toit de grès à gros grain ou de conglomérat, la régularité peut faire complètement défaut. La régularité existe encore, mais est moins visible lorsque entre la veine et son toit il vient s'intercaler des matières plus ou moins meubles, terreuses, havage, etc. Tout cela est si connu et n'est nié par personne; il est donc inutile d'insister.

Peut-on concevoir que dans l'hypothèse où l'emplacement actuel des veines aurait été occupé par une forêt dense du type équatorial actuel, la démarcation entre le sommet de cette forêt et les sédiments subséquents pourrait prendre l'allure d'un plan régulier comme celui qui sépare la couche de son toit?

Pour peu qu'on y réfléchisse, cela semble radicalement impossible, quelle que soit l'hypothèse que l'on envisage. Dans toutes les théories à base autochtone, la forêt est tuée par un approfondissement tel de la couche d'eau existant dans le marais houiller, que les arbres meurent. Comme conséquence de cet

approfondissement du bassin houiller, la sédimentation mécanique terrigène, qui s'était arrêtée durant la formation de la veine, reprend et donne naissance au toit de la veine et à la stampe stérile qui lui fait suite. Tout cela est affirmé comme une chose toute naturelle et qui doit toujours se passer de la même façon, puisqu'elle se répète pour les centaines de formations charbonneuses des bassins houillers profonds. On a bien soin de ne pas entrer dans le détail du mécanisme de ces opérations, et ainsi on évite de montrer que dans ce mécanisme on va à l'encontre des lois de la géologie. Les phénomènes d'invasion de continents, de marais ou de lagunes par les eaux, ou simplement l'approfondissement de masses d'eau déjà existantes, ne sont pas spéciaux à l'époque houillère. Il y en a eu dans toute l'échelle stratigraphique, et de simples affirmations ne peuvent permettre à l'époque houillère de faire bande à part.

Les phénomènes en question sont en réalité très complexes et de nombreux cas peuvent se présenter qui doivent être examinés. C'est ce qui va être fait maintenant.

Premier cas. — En nous plaçant dans l'hypothèse autochtone, que se passe-t-il quand l'invasion des eaux profondes, immédiatement suivie de sédimentation minérale du toit, surprend la forêt en pleine vie? Puisque au moins huit dixièmes des toits sont formés de schistes argileux fins, on est sûr que l'invasion de la forêt a été le fait d'eaux calmes, incapables de raser la forêt ou d'en égaliser complètement les débris. Les arbres en vie étaient plus ou moins dressés et entre eux les eaux se sont insinuées, chargées de sédiments. Il serait si enfantin de s'imaginer qu'en pareilles circonstances on obtiendrait, entre la matière végétale de la forêt et les sédiments du toit, un joint ayant la moindre régularité, que cette hypothèse ne mérite pas un instant qu'on s'y arrête.

Mais cependant, puisque la forêt a été tuée par une invasion d'eau profonde, dans ce que nous venons de dire, la seule chose qui puisse fournir un cas différent, c'est l'absence de sédiments dans l'eau envahissante.

Deuxième cas. — On pourrait donc admettre que la forêt a été tuée d'abord et que ce n'est que plus tard que les sédiments sont apparus dans le bassin houiller et que la formation du toit a commencé. Dans cet intervalle, les arbres morts auraient eu le temps de s'affaisser, de se coucher les uns sur les autres de façon que la surface supérieure de cette forêt morte constituât un plan régulier, prêt à recevoir son toit. Dans cette hypothèse,

en eau calme, sans transport, obtiendrait-on une surface supérieure rigoureusement plane? Cela me semble encore impossible; mais il y a une autre objection, bien plus grave : des arbres plongés sous l'eau, en pleine vie, mettent très longtemps pour se décomposer complètement. Pour certains, cela peut demander un siècle. Pourquoi la sédimentation a-t-elle attendu si longtemps avant de commencer? Pourquoi, sur les centaines de fois que le phénomène s'est reproduit, jamais une seule fois la sédimentation n'a-t-elle commencé immédiatement, de façon à nous conserver l'aspect d'une forêt enlisée sur place? Mais on a la preuve que la formation du toit a suivi immédiatement la formation de la couche, dans beaucoup de cas. C'est ce qui est arrivé pour toutes les veines où l'on observe une zone de transition entre la veine et son toit, chose fréquente et dont nous parlerons plus loin. Or, dans ce cas, comme dans celui où il n'y a pas de transition, jamais on n'observe la moindre brindille, si petite soit-elle, dépassant le sommet de la veine et pénétrant dans le toit. Ce sommet est aussi bien aplani que s'il avait été parfaitement pénéplainisé par des agents d'érosion. Et ce phénomène ne s'est pas produit seulement sur les quelques centaines de mètres de largeur d'une forêt côtière engloutie, mais sur des milliers de kilomètres carrés, en conservant partout les mêmes caractères. C'est à cause de cette énorme différence que je considère comme inapplicables à notre problème les exemples si souvent cités de forêts côtières submergées. D'après les descriptions, d'ailleurs, les allures les plus variées se rencontrent. Dans un des cas les mieux étudiés, de loin, par M. L. Cayeux, l'ensemble des formations organiques et minérales, reconnu dans une tranchée, donne l'impression d'une stratification parfaite, avec toits plans et réguliers (**28**, p. 143). Mais l'observation a été faite sur une si petite surface, qu'on ne sait si, en grand, la régularité se maintiendrait. Une des couches tourbeuses est d'ailleurs un dépôt de transport. Enfin, comme tous les toits de ces formations tourbeuses sont des sables marins, la régularité du sommet des couches est le résultat d'une pénéplainisation marine, phénomène bien différent du dépôt d'argile fine des toits du Houiller. Dans plusieurs des exemples de ces forêts sous-marines, le mélange des sédiments et des débris végétaux, gisant dans toutes les postures possibles, avec les sables marins, est complet et la démarcation n'a rien de régulier.

Après avoir montré ainsi que l'idée d'une forêt autochtone est inconciliable avec le fait d'un toit à base plane et régulière, on peut ajouter que cette régularité est, au contraire, dans la

théorie allochtone, inévitable. Si la houille, comme l'a dit M. Duparque, est un sédiment comme un autre; si, comme je le pense, c'est un sédiment de grande cuvette de type marin, aux sédiments largement étalés et réguliers, sa surface supérieure est plane, par définition, puisque telle est la propriété des sédiments marins. Par conséquent, quand le toit se formera, que ce soit immédiatement après la formation du charbon ou longtemps après, peu importe. La base du toit ne pourra pas être autrement que plane.

4e Observation.

Dans beaucoup de travaux publiés pour défendre la formation sur place, même par des géologues, on trouve formulée la proposition suivante : la grande régularité des couches de charbon prouve qu'elles ne peuvent pas devoir leur origine au transport. Aucune preuve n'est donnée de cette affirmation, comme si c'était un axiome n'ayant donc pas besoin d'être démontré. Dans les trois observations précédentes nous avons dû faire cette besogne étrange de rappeler à des géologues que les formations sédimentaires du type marin sont essentiellement étendues et régulières, et ce sont cependant des formations de transport au sens le plus précis du mot. Pour démontrer l'absurdité de la susdite proposition, il nous reste à faire une besogne aussi étrange : c'est de montrer que le caractère essentiel des formations organogènes, en place, est l'irrégularité en surface (étendue) et dans le temps (épaisseur). Cette démonstration sera évidemment limitée au monde des plantes.

Chacun sait que la vie évolue dans des limites très étroites de conditions de milieu : chaleur, lumière, nourriture, humidité, respiration, pression, pour ne citer que les principales, car la liste s'allonge continuellement. Mettez à côté de cela la variété infinie des milieux que crée, à la surface de la terre, la diversité des conditions géographiques, et dites-vous si du chassé-croisé de cette multiplicité d'influences il peut résulter des produits étendus et réguliers, surtout quand il s'agit de plantes, c'est-à-dire d'être vivants, immeubles par destination, et qui ne peuvent donc jamais se déplacer individuellement pour échapper à l'influence de ces conditions ambiantes. Poser la question, c'est en donner la réponse.

Néanmoins, il ne sera pas inutile de montrer, par quelques bons exemples, ce qu'est en réalité cette régularité des formations en place, d'origine végétale, tellement bien connue qu'on n'a plus besoin de la démontrer.

L'étude de ces formations prend de jour en jour une importance insoupçonnée. Elle vient de faire encore l'objet d'un travail d'ensemble (**99**); mais, à notre point de vue, nous devons nous limiter aux dépôts provenant de plantes supérieures, vasculaires. Dans cette catégorie, il n'y a, dans la Nature actuelle, qu'une seule formation : c'est celle que les auteurs de langue française comprennent sous le nom général de tourbières. Au fur et à mesure que l'exploration de notre globe a progressé, des types nouveaux de tourbières ont été décrits, montrant comment, dans toutes les régions humides, quel que soit le climat, la Nature parvient à produire des gisements tourbeux. Aussi la variété du mode de gisement est grande, mais il est aisé de voir qu'on peut les séparer en deux grandes catégories; comme les gisements houillers, ils sont formés, les uns sur place, les autres par voie de transport préalable. Je commence par déclarer qu'actuellement nous sommes dans une période où le mode de formation sur place, par suite des conditions règnantes, triomphe sur toute la ligne. Je crois aussi qu'il en était tout autrement à l'époque houillère, à la suite de quoi c'est l'autre formation qui dominait. Les géologues, qui ne jurent que par les causes actuelles et n'en admettent pas d'autres, vont immédiatement protester, car ils veulent enfermer les forces de la Nature dans le cercle étroit de leurs concepts. Pour observer la Nature, ils commencent par s'armer d'une théorie, comme le ferait quelqu'un qui, avant de regarder, s'appliquerait sur l'œil un verre rouge et qui n'aurait pas à s'étonner de voir tout en rouge. Que la meilleure méthode consiste à essayer d'interpréter, non pas avant d'avoir observé, mais après, en s'aidant de l'étude des phénomènes encore visibles, rien de plus rationnel. Mais si l'on n'aboutit pas en opérant ainsi, il serait contraire au principe de la science d'essayer de plier les faits pour leur faire démontrer la théorie.

Ceci dit, je reconnais que les tourbières actuelles de transport sont peu importantes, irrégulières et très mal étudiées. On ne saurait donc y puiser des arguments pour le point spécial qui nous intéresse dans ce chapitre. Mais nous espérons montrer aussi que les tourbières actuelles, sur place, ne peuvent non plus nous servir d'exemple du mode de formation des importants gisements de l'époque houillère.

Nous allons d'abord rappeler brièvement les divers types de tourbières actuelles, en nous limitant à ceux qui ont une extension notable.

1° TOURBIÈRES DES RÉGIONS POLAIRES. — Le type en est fourni par la *toundra* sibérienne, formée au moyen de la végétation des immenses forêts de bouleaux qui vivent au voisinage du cercle polaire. Vu les conditions climatériques, nul n'a jamais pensé à y rechercher des points de comparaison avec les gisements houillers.

2° TOURBIÈRES DES RÉGIONS TEMPÉRÉES. — C'est là que nous voyons le type de gisement pour lequel on a créé jadis le nom de tourbières, car, connues depuis très longtemps, on n'en connaissait jadis pas d'autre type. Il y en a plusieurs variétés. MM. Osbon et Soper, à qui nous devons une des meilleures monographies de la tourbe (**98**), proposent d'y distinguer les variétés suivantes :

a) Le *bog*, région plate ou en pente faible (**98**, p. 7), peuplée surtout de mousses, de broussailles, de bruyère, de gazon et de joncs, accidentellement d'arbres. C'est le vrai type de la tourbière;

b) Le *marsh* ou marais. Il diffère du *bog* parce qu'il est couvert d'eau et que la mousse et les arbres y font défaut.

3° TOURBIÈRES DES RÉGIONS TROPICALES OU SUBTROPICALES. — Vu l'exubérance de la végétation et l'abondance d'eau, c'est évidemment là que l'on trouve les grandes tourbières et les types les plus variés. Nous distinguerons :

a) Le *swamp*, mot pour lequel il n'y a pas d'équivalent français et qu'il faut donc adopter tel quel. Osbon et Soper (**98**, p. 8) le définissent : « une région basse, plate, couverte ou saturée d'eau, avec peuplement dense d'arbres, avec ou sans sous-bois de broussailles. Parfois la surface est couverte d'un tapis de végétation basse »;

b) La *tourbière de la grande forêt équatoriale*, non encore dénommée. On sait que les cours d'eau des tropiques sont soumis à des débordements périodiques durant la saison des pluies. Dans les régions où les cours d'eau sont bordés de plaines basses, il est rare que celles-ci ne soient pas couvertes par la forêt tropicale typique. La faiblesse du relief et l'importance de l'inondation font que, durant des mois, d'énormes étendues boisées sont transformées en lacs plus ou moins profonds. Le cas le plus remarquable de ce genre est l'immense bassin de l'Amazone, où l'inondation est si vaste qu'elle dépasse la crête de partage du bassin de l'Orénoque et va se joindre à celle de ce fleuve. Un autre cas, moins considérable, mais encore typique, est offerte par le Congo moyen, entre Stanleyville et le Stanley-

Pool. Il existe, en petit, le long de presque tous les cours d'eau tropicaux. Pendant la période d'inondation, tout ce qui tombe au fond peut, grâce à la couche d'eau, se transformer en tourbe et augmenter l'épaisseur de la litière qui se forme normalement dans toute forêt un peu âgée;

c) Les *tourbières de roselières*. — Les parties peu profondes des grands lacs de l'Afrique centrale et le lit du haut Nil et de ses affluents sont envahis par une puissante végétation de roseaux géants, le célèbre papyrus, aux pieds desquels s'amasse une tourbe abondante.

Parmi ces divers types, les partisans de la formation sur place ont pris comme exemple la végétation en place, houillère, tantôt les tourbières des régions tempérées, tantôt les swamps. Nous examinerons donc ces deux types au point de vue de la régularité des dépôts de tourbe qu'ils peuvent donner. Nous parlerons d'abord des *swamps*, dont une excellente et récente description se trouve dans le travail précité d'Osbon et Soper (**98**, p. 192). Le *Dismal swamp*, qui ne mesure pas moins de 2,200 miles carrés, est le plus vaste actuellement décrit. La carte que l'on en donne montre tout de suite une différence profonde avec les bassins houillers par l'irrégularité extrême de ses contours, par la présence, au beau milieu, de nombreuses et importantes îles et par l'extrême variété d'innombrables petits marais semés aux environs. On ne donne pas de coupe du dépôt tourbeux, mais quand on aura vu que son épaisseur varie de 1 à 20 pieds et que les limites du *swamp* varient avec les saisons, les années pluvieuses, etc., on saura qu'il n'y a là rien de comparable à la régularité d'un dépôt sédimentaire marin, ni à celle de beaucoup de couches de charbon; on saura aussi ce que vaut l'axiome de la régularité des dépôts organiques végétaux du type actuel, qui est généralement considéré, maintenant, comme représentant le mieux les conditions de formation, sur place, des veines de charbon.

Ce n'est pas tout. Comme le marais se compose en fait de la réunion d'une quantité de petits bassins, il est évident que le dépôt est formé d'une même quantité de lentilles. Et la régularité ne va pas en augmentant, car actuellement la profondeur d'eau est des plus variables. Il y a encore un lac au centre. Ailleurs la profondeur d'eau peut aller jusqu'à 2 pieds, mais dans la plus grande partie du *swamp*, l'eau ne monte pas au-dessus du sol, mais elle sature celui-ci et il s'y forme encore de la tourbe. Comment, dans de pareilles conditions pourrait-on avoir une formation d'épaisseur régulière? Et non seulement la forma-

tion n'est pas régulière comme allures, mais la végétation y a beaucoup varié et varie encore. En effet, cette végétation, très riche, se compose d'espèces fort sensibles à la profondeur de l'eau. Aussi les petits bassins, étant peu profonds, se sont bientôt remplis de tourbe, et la profondeur étant devenue très faible (elle n'est que de 2 pouces pour l'ensemble du *swamp*), une végétation différente a apparu dans certaines parties du *swamp*. Alors que l'uniformité de la végétation, dans le mur des couches, indiquerait une végétation semblable partout, dans le *Dismal swamp*, tous les types de tourbières sont représentés, la tourbe de mousse et d'algues, la tourbe de plantes d'eau herbacées (joncs, etc.) et enfin la tourbe d'arbres. Et non seulement cette variation s'est produite dans le temps, mais elle existe encore aujourd'hui en surface. On voit donc que le plus bel exemple de *swamp* est aussi un exemple des profondes différences qui existent entre les bassins houillers et cette tourbière en place. Il est certain que l'ensevelissement du *Dismal swamp* ne donnerait pas une couche de houille régulière et stratifiée et que son toit sédimentaire ne ressemblerait pas non plus, comme allure, au toit classique des couches de charbon. Faute de la moindre indication sur le soubassement du *swamp*, nous ne pouvons pas poursuivre la comparaison avec le mur des couches de charbon.

Passons maintenant à la comparaison avec les tourbières des zones tempérées. Les immenses plaines entourant les grands lacs de l'Amérique du Nord, énergiquement rabotées par une puissante érosion glaciaire, constituent certainement, à l'heure actuelle, une des régions continentales au relief le plus faible et le plus régulier et le mieux connu. C'est donc là qu'on doit s'attendre à rencontrer, avec des conditions climatériques d'ailleurs des plus favorables, les gisements tourbeux les plus importants comme extension et comme régularité. Importants ils le sont, puisqu'on évalue la réserve en tourbe du Minnesota, du Wisconsin et du Michigan à plus de dix milliards de tonnes. Mais il suffit d'examiner les cartes jointes au travail d'Osbon et Soper pour voir que cet énorme tonnage est réparti dans une infinité de gisements isolés, dont la dimension varie, les plus nombreux étant minuscules. Les photos et les renseignements qu'on donne (**98**) montrent qu'ils s'agit toujours de cuvettes à végétation variée et dont les produits tourbeux, une fois intercalés dans l'écorce terrestre, ne sauraient donner qu'une infinie variété de lentilles à allure complètement distincte de celles d'une couche de houille. Pour mieux montrer encore son irré-

gularité, la tourbe de ce type de région ne se borne pas à se former sous l'eau et dans les cuvettes, elle grimpe même sur les pentes avoisinantes, *the climbing bog* (**98**, p. 8).

Les tourbières des régions similaires de l'Europe ne diffèrent pas, sous le rapport des conditions de gisement, de celles de l'Amérique du Nord. Il suffit, pour s'en convaincre, de lire les nombreux et beaux travaux que H. Potonié a consacrés à l'étude scientifique des gisements classiques des plaines de l'Allemagne du Nord. On ne comprendrait pas que Potonié ait été chercher là des arguments en faveur de l'autochtonie des couches de charbon, si l'on ne savait qu'il connaissait moins bien ces gisements du Houiller que les tourbières actuelles.

Cette impression sur les conditions de gisement irrégulières des tourbières actuelles est encore fortifiée par la lecture de l'excellent résumé des résultats de leur étude que donne J Pia (**99**, p. 272). Son diagramme de la page 274 suffit pour montrer des faits capitaux : la sensibilité de la végétation aux conditions de profondeur, la limite faible de l'habitat des plantes supérieures (4-5 m., mêbe pour des plantes herbacées), la rareté des arbres, la forme lenticulaire des gisements, etc.

Puisque les tourbières modernes ne nous donnent pas ce terme de comparaison avec la houillère, nous allons montrer que nous ne serons pas plus heureux avec des tourbières plus anciennes, du Quaternaire inférieur, dont de grands travaux publics, notamment dans les ports, nous permettent parfois l'étude de coupes étendues qui font défaut dans toutes les études de gisements tourbeux actuels.

Et cependant, l'abondance des précipitations pluviales, la puissance des agents d'érosion continentale sembleraient devoir faire du Quaternaire la période d'élection des grands gisements réguliers tourbeux.

Une des meilleures études que nous possédions est due à l'éminent géologue A. Strahan (**164**). Elle offre l'avantage de nous montrer un géosynclinal en miniature, d'âge quaternaire, avec quatre couches superposées, et se rapproche donc des bassins houillers plus que la plupart des tourbières. A la suite d'un affaissement du sol de près de 55 pieds, l'embouchure de la rivière Cadoxton a vu se former un complexe de 35 pieds d'épaisseur, comprenant quatre couches de tourbe alternant avec des couches d'argile. On a pu les observer lors du creusement des *Barry docks* (port de Cardiff). Ce sont évidemment des dépôts en place, car sous chaque lit de tourbe l'argile est remplie de tiges debout avec racines de joncs (*Scirpus mariti-*

mus). Une coupe longue de 500 m. est donnée, indiquant la grande régularité et le parallélisme des couches de tourbe et d'argile. Sous ce rapport on se croirait en face d'une coupe houillère. Mais il y a des différences capitales. Sur cette faible distance le sous-sol rocheux triasique forme deux bosses telles que seule la couche supérieure de tourbe peut passer au-dessus en s'amincissant fortement. Les autres viennent mourir sur le flanc de ces bosses, en se relevant et s'amincissant, cas extrêmement rare dans le Houiller. Toute la formation est d'eau douce, même terrestre, mais une invasion finale de la mer a biseauté et érodé le toit d'argile de la tourbe supérieure, en enlevant aussi probablement une cinquième tourbe, car cette argile est aussi remplie de restes de joncs. Dans le Houiller, aucun toit marin ne présente pareil exemple d'érosion. Dans beaucoup de cas on peut aisément voir la connexion entre les racines de l'argile et les troncs contenus dans la tourbe, ce qu'on n'a pas encore décrit dans le Houiller. La tourbe supérieure, la plus continue, est divisée en deux par une intercalation de marne coquillière (Ostracodes, Lymnea, etc.), où l'auteur ne signale aucune racine, seulement de la matière végétale. On peut donc se demander si la division supérieure est bien en place, car elle est laminée et contient des troncs d'arbres qui sont accumulés, surtout autour d'une des bosses précipitées, et qui sont donc échoués. La coupe donnée est à très petite échelle et l'auteur ne dit rien de la façon dont se fait le contact entre une couche de tourbe et l'argile qui la recouvre, point qui nous intéresse ici. Mais ce qu'il dit des épaisseurs des divers dépôts n'indique pas un parallélisme comparable à celui des veines du Houiller. Ainsi la couche supérieure varie de 1 à 2 pieds. La deuxième couche est discontinue et n'a, en moyenne, que 3 pouces, pouvant aller jusqu'à 8 pouces, avec des limites imprécises. La troisième couche est surtout formée de troncs et de souches d'arbres avec racines en place. Elle a 8 pouces. D'après la végétation, c'était tantôt l'emplacement d'une forêt (*swamp*), tantôt celui de plantes aquatiques au bord d'un marais. La quatrième couche, peu étendue, avait 3-4 pieds avec beaucoup de troncs et des racines au mur, et un toit de l'argile avec joncs passant à une argile à formaminifères, en montant.

Pour un des cas de tourbière ressemblant le plus au Houiller, on voit que les différences l'emportent, de loin, sur les ressemblances, car, chose bizarre, les couches d'argile intercalaires, évidemment sédimentaires, sont bien plus régulières que les formations tourbeuses, leur épaisseur ne variant que de 5 à 7 pieds.

Nous pouvons encore avoir des renseignements sur une couche de tourbe en place, d'après les auteurs qui l'ont observée, à deux reprises, lors des creusements de l'Albert-Dock à Hull. Sur une coupe de 4,000 pieds de long, la couche suit les ondulations d'une couche d'argile sous-jacente, en ne variant guère de niveau; mais vers l'Est, la couche descend d'environ 5 mètres plus bas, probablement dans un ancien chenal de l'Humber, pour remonter au delà. Dans l'argile inférieure on trouve des racines jusqu'à 6 pieds sous la tourbe. Celle-ci renferme quantité de souches et de troncs, et dans sa partie orientale ces débris sont enclavés dans de l'argile grise, tandis qu'à l'Ouest la couche ne montre que de la tourbe. L'auteur ne donne (**17**) (**72**) pas de coupe, mais on en trouve une publiée anciennement (p. 182), observée lors d'un travail antérieur. Le sommet de la couche s'y montre très irrégulier et l'épaisseur varie du simple au double.

Encore une fois, tout cela est bien différent de la régularité d'un vrai sédiment mécanique.

A ces documents je puis ajouter quelques faits personnels. La tourbe s'étend, dit-on, très uniformément dans la grande vallée plate de l'Escaut. Voyons en quoi consiste cette uniformité, vue de près. Une rangée de six sondages, parallèle au fleuve, à Valenciennes (Usine d'électricité), longue de 75 m., donne les épaisseurs de tourbe suivantes : 1,50-2,00-1,50-2,00-1,00-0 m. Une rangée parallèle de trois sondages, à 20 m., ne donne plus qu'un peu de tourbe. Les sondages faits en 1919 pour la reconstruction de l'écluse de Berchem-lez-Audenarde donnent des épaisseurs de tourbe variant de 0 à $4^{m}50$. Ce ne sont que renflements et biseaux. La tourbe pure passe latéralement à l'argile tourbeuse.

Le creusement des grands bassins au Nord d'Anvers a permis d'étudier la couche de tourbe dans des conditions uniques. Les coupes, relevées avec soin par M. Missotten, conducteur des Ponts et Chaussées, dans les fouilles du bassin Siberia et qu'il m'a communiquées sont très instructives et montrent l'irrégularité de la couche, ses renflements, tant vers le bas que vers le haut, ses rétrécissements continuels, le tout contrastant avec l'horizontalité parfaite de la surface d'alluvions modernes et des formations marines sous-jacentes. On pouvait comparer là la prétendue régularité des dépôts organiques avec celle des formations sédimentaires mécaniques. On pourrait multiplier les exemples à volonté. La régularité de puissance des formations végétales en place est une légende, rien de plus.

5e Observation.

Personne n'a jamais douté que le toit des couches soit un sédiment mécanique transporté, plus ou moins riche en matières charbonneuses. Une preuve que la veine a la même origine, c'est qu'on peut trouver entre la veine et son toit, dans bien des cas, des transitions tout à fait insensibles. Divers cas peuvent s'observer :

Premier cas. — Il y a passage brusque entre le charbon et le toit. Le fait est très fréquent, surtout pour les veinettes. Mais même alors il y a encore une certaine transition visible, car, dans le toit, au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la veine, la proportion de carbone et de matières volatiles diminue, en même temps que la roche devient de plus en plus pâle et la rayure de plus en plus blanche. Il arrive même que les premiers bancs du toit, surtout contre le charbon, soient si riches en matières volatiles, qu'ils le sont plus que le charbon. C'était le cas au toit de la veine Huit-Paumes, du gisement supérieur du charbonnage de Marcinelle-Nord, au puits n° 6. Il y avait là une roche appelée « pétrole » par les ouvriers, à cause de son inflammabilité.

Deuxième cas. — La transition entre la veine se fait par la présence, entre les deux, d'un lit plus ou moins épais de charbon terreux, tendre, servant souvent de havage et dont la composition chimique est intermédiaire.

Troisième cas. — La transition entre veine et charbon se fait de la façon la plus graduelle et la plus insensible. On ne saurait dire où commence la veine et où finit le toit. Entre le toit et la veine il y a une zone plus ou moins épaisse, atteignant rarement un mètre, où l'on voit, en partant de la veine, apparaître d'abord un lit de *pseudo-cannel coal* avec lits *pseudo-cannel coal* typique, généralement très cendreux. En montant, cette roche devient de plus en plus terne, plus mate, à rayure de moins en moins luisante, et l'on passe ainsi, sans s'en apercevoir, à du schiste noir très doux, feuilleté, à rayure foncée, qui lui-même devient de plus en plus pâle.

Quatrième cas. — La transition peut se faire par alternance. Entre les deux types extrêmes il y a une zone, parfois assez épaisse, où l'on voit une infinité de lits minces de charbon brillant, de plus en plus minces et plus rares en s'écartant de la veine et intercalés dans du schiste noir luisant, sonore, à rayure grasse et de plus en plus charbonneux vers la veine. Inutile de

dire qu'il n'y a pas de radicelles transversales dans ce schiste, qui est souvent bondé de débris végétaux macérés, de sporanges, de morceaux de fusain. Les lits brillants sont souvent lenticulaires et montrent encore, à la surface, que ce sont des écorces très aplaties de végétaux (surtout des Sigillaires et des *Lepidodendron*).

Ce genre de transition est fréquent et il montre de la façon la plus évidente l'identité du mode de formation du toit et de la veine. Les lits brillants ont en effet toujours la même composition chimique que le charbon de la veine sous-jacente.

Cette argumentation a déjà été présentée par M. Duparque, qui a montré, par des micrographies, que cette alternance se poursuit, au moins aussi remarquable, sur des sections grossies plus de cinquante fois (**47**, pl. X) (**54**, p. 477). L'identité entre le charbon de la veine et celui des lits intercalés dans le toit est un fait très important dont on peut tirer plusieurs conclusions non moins importantes.

Elle prouve, en effet que, dans beaucoup de cas, il n'y a pas eu d'intervalle important entre la formation de la veine et celle de son toit, puisque ces lits, pouvant être considérés comme la continuation du même phénomène, alternent avec un toit dont la formation était déjà commencée. Personne n'oserait prétendre que ces petits lits sont des restes de forêts en place; donc la même conclusion doit s'appliquer à la veine.

Cette alternance montre aussi qu'on ne peut pas expliquer la régularité du joint séparant la veine de son toit, en admettant que, durant un long intervalle, la végétation forestière en place aurait eu le temps de se coucher et de s'étaler en un amas régulier. On voit que cet intervalle n'existe pas. (Voir la troisième observation.)

6e Observation.

Les matériaux dont la densité est supérieure à celle de l'eau ne se maintiennent en suspension dans celle-ci qu'à la faveur du mouvement qui y règne. Comme dans les grandes cuvettes du type marin (*lato sensu*) l'agitation de l'eau varie dans de très grandes limites, il s'ensuit que la sédimentation est toujours accompagnée d'un classement de ces matériaux d'après leur volume et leur densité. La sédimentation organique sur place n'admettant pas de transport, donc pas de mouvement, ce classement est impossible et seules les conditions biologiques peuvent produire un classement, naturellement tout différent. Il y a donc là un critérium permettant de savoir si oui ou non on a

affaire à une sédimentation mécanique, en recherchant s'il y a eu classement et, partant, transport.

Comme nous l'avons déjà dit précédemment (p. 42 et p. 44), M. Duparque a montré, par l'étude micrographique des charbons, de nombreux faits que seul un classement durant transport peut justifier. Mais il a encore exposé un autre cas de classement beaucoup plus important, parce que beaucoup plus général. C'est un fait si capital qu'il suffirait, à lui seul, à démontrer que les veines de houille sont le produit d'une sédimentation après transport (**52**, p. 22). En étudiant une même veine, bien reconnaissable dans tout le bassin du Nord de la France, la veine Poissonnière, il a montré pourquoi sa teneur en matières volatiles varie de 10 à 32 %. Ce n'est pas parce que son charbon, d'abord de composition uniforme, aurait été métamorphosé, par régions, comme beaucoup de géologues l'admettent encore. La différence provient de ce que les matières végétales qui ont formé cette veine étaient différentes par suite d'un classement qu'elles ont subi en partant du rivage de la cuvette houillère, rivage situé au Nord de la limite actuelle du bassin. Grâce à ce classement, il a pu se produire, simultanément, une première bande de charbon maigre, puis une bande de charbon gras, puis une troisième de charbon à gaz, caractérisées par les trois grands types de charbons que M. Duparque a reconnus : les charbons de cutine (à gaz), les charbons ligno-cellulosiques à tissus lignifiés bien conservés (gras) et ceux où ces tissus sont gélifiés (maigres).

Cette démonstration est si capitale qu'il est hautement désirable qu'une étude systématique semblable soit répétée plusieurs fois pour des veines présentant une pareille gamme de teneurs et dans des bassins comme ceux des Galles du Sud et des Apalaches, où la détermination de la synonymie des veines est plus aisée et plus certaine que dans le bassin franco-belge. Pour finir, ajoutons que les observations de M. Duparque rajeunissent et précisent une hypothèse émise, il y a bien longtemps, par Potier, qui cherchait à expliquer la localisation des charbons gras et des charbons maigres dans des régions distinctes du bassin houiller du Nord.

7e Observation.

Comme nous l'avons dit, il y a des veines qui passent, par transition, tantôt à leur toit, tantôt à leur mur. Il y en a aussi qui passent latéralement à des roches, où les matériaux miné-

raux transportés sont si prédominants, que leur origine sédimentaire mécanique ne saurait être contestée, et il en est donc de même de la veine elle-même, qui subit cette transformation et qui, à part cela, ne se distingue pas des autres veines. En voici quelques exemples :

La veine Oliphon ou Stenaye est une belle veine exploitée au charbonnage du Bois d'Avroy (Liége). Dans la concession d'Angleur, voisine, à l'Est, de la précédente, la veine passe, bien reconnaissable et aussi épaisse, mais inexploitable, car à tous les points où elle a été recoupée elle ne renferme que du schiste charbonneux avec minces lits brillants de charbon.

La grande veine d'Oupeye, dont nous avons déjà signalé la régularité de puissance au charbonnage d'Abhooz, à Herstal, est inexploitable au charbonnage d'Ans voisin, à l'Ouest, car sa moitié supérieure est devenue du schiste noir ampélitique avec un lit de *pseudo-cannel coal* pierreux à la base, adhérant au charbon sous-jacent. Le toit se poursuit uniformément de part et d'autre, bien reconnaissable, montrant que c'est le remplissage de la veine qui s'est modifié.

La veine Dix-Paumes, la plus régulière du bassin de Charleroi, est devenue si pierreuse et si sale dans un quartier du charbonnage de Masse Saint-François, à Farciennes, qu'il a fallu l'abandonner.

La veine Sainte-Barbe, de Ransart, atteignait jusqu'à 1 mètre de puissance en charbon au puits n° 4 du charbonnage de Masses-Diarbois. A l'Ouest, au puits Saint-Henri du charbonnage du Grand-Conti, à Gosselies, la même veine avait 1 m. 30 d'ouverture, mais seulement 0 m. 20 de charbon, en petits lits, dans du schiste noir, dur, charbonneux. Au puits Chaumonceau du charbonnage d'Amercœur, à l'étage de 722 m., la veine a 0 m. 85 d ouverture, mais il n'y a que 0 m. 20 de charbon au sommet, puis 0 m. 45 de schiste charbonneux, pyriteux, puis 0 m. 20 de schiste tendre, noir.

Les plans des charbonnages belges renseignent des milliers d'étreintes, c'est-à-dire de taches plus ou moins étendues, où les couches sont inexploitables.

Sous ce terme générique, les mineurs belges comprennent plusieurs phénomènes de nature très différente. Beaucoup sont originelles et proviennent d'un remplacement, durant la formation de la veine, du charbon par des roches stériles. C'est ce que j'ai pu comprendre d'après les indications qui m'ont été données sur place. C'était le cas pour une série d'étreintes que j'ai décrites (**138**, p. 33), où la veine Broze du charbonnage de

Monceau-Fontaine, sur des espaces, dont l'un avait 1 hectare et demi, avec toit et mur bien réglés, avait son charbon remplacé par des masses volumineuses de grès, dont les interstices étaient occupés par du charbon. Un accident de sédimentation mécanique local pouvait seul expliquer ce curieux fait.

Comme curieux cas de transformation latérale, on peut donner celui de la veine Halbalerye du bassin de Liége, qui, sur un petit espace, se transforme en un complexe de 5 mètres de schiste avec quatre intercalations de *pseudo-cannel coal* très pierreux (*Croha* des mineurs) (**144**, p. 17).

On pourrait multiplier les exemples, mais ils sont suffisamment connus et assez fréquents à l'étranger, surtout dans certains bassins du type mississipien, pour que ces citations soient superflues.

8e Observation.

Il n'est pas rare de voir des veines, surtout quand elles sont fort épaisses, composées de plusieurs lits avec séparations stériles minces, se séparer en plusieurs veines particulières, par suite d'un épaississement des intercalations stériles, qui peut atteindre des dizaines de mètres d'épaisseur. Ce cas est fréquent et l'on en cite deux, classiques, à l'étranger. C'est le cas du *Thick coal* du South-Staffordshire et celui de la grande veine de Dombrowa (Pologne). Dans ce dernier, une couche de 18 m. se divise, en passant l'ancienne frontière avec la Silésie (**120**, p. 271), d'abord en deux, puis en quatre veines. Le *Thick coal* présente le même phénomène.

J'ai décrit des cas semblables en Belgique (**144**, pp. 19 et 28). Ils sont plus compliqués, en ce sens que l'effilochement de la veine, au lieu de se faire d'un côté seulement, comme dans les cas précités, se fait de deux côtés, en partant d'une centrale épaisse. Dans le Borinage, le cas de la Veine Grand-Buisson est bien connu. Dans la concession du Grand-Buisson, c'était une belle veine, épaisse et complexe, dont les divers lits, vers l'Ouest, se sont séparés, pour ne plus former, aux Charbonnages-Unis de l'Ouest de Mons, qu'une série de veinettes dans un complexe épais de plus de 35 mètres.

Précédemment j'ai montré (p. 80), que les caractères du mur situé entre deux veines qui se réunissent ne permettent pas de croire que ce mur soit un sol de végétation. On n'a jamais montré, d'ailleurs, par des coupes de tourbières manifestement en place, des bifurcations qui rapellent, même de loin, celles connues dans le Houiller. On se demande donc sur quoi repose

l'affirmation que ces bifurcations seraient une preuve de la formation sur place. Au contraire, dans les formations sédimentaires marines, ce phénomène est extrêmement fréquent. Dans toute coupe où s'observent des alternances de deux roches, par exemple grès et schiste, ou calcaire et schiste, on peut voir des exemples en petit de bifurcations. Nombreux sont aussi les exemples, en grand, car chaque fois que l'épaisseur de formations marines se met à augmenter, c'est bien souvent avec accompagnement de bifurcations [1]. On peut donc conclure que ce fait est, au contraire, une autre preuve de la formation de la houille par transport. Les belles expériences de M. Fayol ont d'ailleurs montré que, lorsque les matériaux de densité ou de volume suffisamment différents se déposent sur un plan incliné, il en résulte des allures identiques à celles des gisements épaissis et bifurqués. Et à cet égard il est une remarque que l'on peut faire, au point de vue général : L'importance et le nombre des bifurcations accompagnées d'épaississement des stampes sont inversément proportionnels à l'importance du bassin. C'est pour cela que ce genre d'allures est en quelque sorte la règle dans les petits bassins limniques du Centre de la France. De plus, dans un grand bassin, la fréquence et l'amplitude des bifurcations augmentent en se rapprochant des bords du bassin. Ainsi ces phénomènes sont particulièrement nombreux dans le South-Staffordshire et il n'est pas douteux qu'on était là bien près du rivage du bassin houiller des Middlands. Les exemples d'irrégularités du mur, de discordances de stratification, de lacunes de sédimentation, de transgression y abondent. Et à ce propos, c'est ici le moment de faire une observation importante. On peut trouver tous les stades successifs de transition entre les deux grands types de bassins houillers, le type limnitique et le type paralique, et entre les deux subdivisions de ce dernier type : le type mississipien et le type européen. Celui-ci forme en quelque sorte le passage entre les deux autres types. Sur ses rivages, ses allures se rapprochent de celles des bassins limniques, tandis que son centre se rapproche du type mississipien.

L'ancien bassin franco-belgo-westphalien était certainement voisin du centre d'une grande cuvette houillère. Il en était de

---

(1) On trouve la description de remarquables bifurcations de veines dans les bassins anglais (**66**, **80**). Dans la seconde, Hurst montre que ces bifurcations sont accompagnées de curieux renflements en forme de cuvette, bordées par des étreintes, le tout avec des caractères tels qu'il serait difficile de ne pas admettre, avec l'auteur, qu'il s'agit de phénomènes de transport.

même de la plus grande partie du bassin des Apalaches. Aussi on n'y observe qu'exceptionnellement, et sur une échelle restreinte, les allures caractéristiques des bassins limniques : discordances de stratification, absence de parallélisme des strates, dans certaines directions, bifurcations, etc.

Néanmoins, la communauté d'origine que crée entre les bassins limniques et paraliques l'identité du mode de formation par transport, fait que sur bien des points il y a identité de caractères. Aussi je me rallie aux belles observations que nous a exposées Grand'Eury (**64**, pp. 32 à 34) sur le triage des matériaux et plantes et (**63**, pp. 2, 6 et 7) sur la sédimentation dans les bassins, ainsi que (**63**, pp. 21, 25 et 36) sur la liaison entre les veines et les sédiments.

CHAPITRE III.

Irrégularités de la sédimentation et de la stratification.

Pour épuiser toutes les sources d'information, il ne suffit pas d'étudier les phénomènes communs et normaux. Il y a parfois d'utiles déductions à tirer des faits anormaux et exceptionnels. Nous avons vu que le caractère essentiel d'une formation sédimentaire mécanique marine consiste dans le parallélisme des joints de sa stratification. En décrivant dans les lignes précédentes les bifurcations de veines et, à la page 32, les inégalités du joint séparant la couche de charbon de son mur, nous avons déjà vu ce que l'on doit penser de ces irrégularités. Mais au sommet des veines il y a parfois des irrégularités bien plus marquantes encore, et d'autres même paraissent être contemporaines de la formation de ces veines, qu'elles peuvent donc contribuer à éclairer. Ces irrégularités en sont connues et décrites en Angleterre, où elles ne sont pas rares et où on les connaît sous le nom de *wash-out* ou de *rock-faults*. Ailleurs on ne leur a pas porté l'attention qu'elles méritent. J'en ai signalé en Belgique (**138**), et le cas décrit par Sachse (**120**, p. 276) et figuré par un dessin un peu stylisé, est certainement du même genre. Il existe aussi des *wash-outs* dans le bassin des Apalaches (**100**). Nous parlerons d'abord du *wash-out* typique, le plus fréquent d'ailleurs, celui qui est postérieur à la formation de la couche qu'il entame.

Une étendue plus ou moins grande d'une couche a été enlevée et remplacée par une sorte de chenal ou de cuvette remplie de roches toujours siliceuses, formant le prolongement, infléchi

vers la base, d'un banc qui forme le toit de la couche et plus souvent encore est situé à une certaine hauteur de ce toit, érodé donc lui aussi. A la base du chenal, il y a souvent des cailloux roulés de charbon, de sidérose et de roches houillères.

Un des cas les plus instructifs est le *wash-out* décrit par Griffith (**70**). Il affecte une couche de *cannel coal* du bassin de North-Wales. A la base du chenal, où la couche a été ravinée, on trouve des cailloux provenant de la veine et notamment un bloc métrique comprenant toute l'épaisseur de la veine, bloc renversé sens dessus dessous, comme le montrait la disposition renversée des divers lits de la veine. Il y a de nombreux exemples décrits de ce genre typique, mais il y a des variantes curieuses parfois bien difficiles à interpréter. Un *wash-out* de la veine Barnsley (South-Yorkshire), décrit et figuré par Middleton (**73**, fig. 3, p. 340), est dans ce cas. La couche a un toit de grès qui, dans le *wash*, sur 1,200 yards de long et 150 yards de large, a complètement enlevé la couche, en ne laissant que de très petites portions contre le mur respecté. Ce qui est extraordinaire, c'est que le mur est plissé dans le *wash*, et que la veine elle-même montre de petits plis sur le bord du *wash*, comme si la pression des roches du *wash* avait été suffisante pour refouler latéralement la couche et plisser son mur, dont les plis étaient d'ailleurs peu accusés. MM. Kirby et Duft décrivent un *wash* typique du bassin de Durham où une couche de grès, surmontant d'habitude le toit schisteux de la veine, ravine ce toit et une partie du sommet de la veine (**86**). Le *wash-out* décrit par Middleton, dans la veine Parkgate (**95**), présente plusieurs particularités anormales. Il est d'abord placé presque au-dessous du *wash* décrit plus haut dans la veine Barnsley. Il est beaucoup plus étendu et il érode la couche, pas complètement, par gradins ou par de faibles cuvettes. Sur un des côtés de l'une de ces cuvettes, le remplissage du *wash*, qualifié de *Parkgate rock* (non décrit), enfonce un véritable coin, sur le côté, dans la veine. En différents points du *wash*, une couche de conglomérat s'intercale dans le remplissage du *wash*, mais pas à la base.

Il n'est pas rare de voir une couche, au voisinage d'un *wash*, s'épaissir fortement en formant comme un bourrelet autour du *wash*. On pourrait croire que c'est le courant qui a produit le *wash* qui aurait enlevé le charbon, dans le *wash*, pour l'accumuler sur les bords, ou bien, si le *wash* est contemporain du dépôt de la couche, que le charbon s'est accumulé sur les bords du *wash* parce que le courant qui règnait dans le chenal du *wash* l'empêchait de s'étendre dans celui-ci. Dans le bassin du

Leicestershire, Fox-Strangways a décrit des *wash* de la houillère Netherseal qui, en plan, forment de très longs chenaux sur lequels viennent se brancher des affluents latéraux, donnant à l'ensemble l'aspect d'un réseau fluvial (**58**).

C'est là un type extrême dû, sans doute, à l'existence de courants linéaires, tandis qu'à l'autre extrémité on trouve le *wash* presque circulaire dû à un tourbillon du bassin où se faisait la sédimentation houillère.

Mais il y aussi un type de *wash* évidemment contemporain de la formation de la couche et d'autant plus instructif, car il nous montre que ces couches se formaient sous une profondeur d'eau assez forte pour que de puissants courants puissent s'y développer, sans que cette profondeur fût trop forte. Ce genre de *wash* établit de plus une transition avec d'autres irrégularités des veines et des stompes qui sont aussi congénitales.

Un des cas les plus instructifs est celui étudié par M. Henry dans le bassin du Derbyshire et du Nottinghamshire. Il est de la forme allongée et a un mille et quart de long. Sur une partie de son parcours il se divise en deux branches qui enveloppent un îlot préservé dans la couche. Quatre coupes transversales montrent que la couche y est remplacée par du grès, qui a l'aspect classique du chenal ravinant la couche et même le mur; mais ailleurs le grès forme une lentille remplaçant la couche et s'enfonçant au milieu de celle-ci par la pointe de la lentille (en section). La démarcation entre le grès et le charbon n'est pas nette, mais se fait par des infiltrations d'une roche dans l'autre. La couche est presque doublée de puissance le long du *wash*, et l'auteur croit que ce charbon supplémentaire provient du *wash*, car l'épaississement est formé de charbon sali par des intercalations terreuses et sableuses. Un autre *wash* de forme similaire semble le prolonger, mais il est dans une autre couche, inférieur de 200 yards (**73**, p. 435).

W. Gibson a aussi donné des exemples d'épaississements de couche au voisinage d'un *wash-out* (**60**). Mais les phénomènes les moins explicables sont les deux cas suivants. Le premier a été observé par Kirby et Duft (**86**) au charbonnage George, dans la veine Brockwell. Le grès du toit pénètre dans la couche par une petite ouverture et s'y étend en formant des amas lenticulaires. Le mécanisme de l'introduction de ce sable dans la couche est difficile à concevoir, car la forme des amas ne correspond à aucune forme d'érosion mécanique. On dirait qu'on se trouve en présence d'une intrusion éruptive.

Ce caractère intrusif est encore mieux marqué dans les coupes

figurées (**119**) par Rutherford. Un vrai dyke de schiste avec lentilles de charbon parcourt une veine de 2 m. 50, absolument comme un dyke éruptif, en y produisant des chenaux, des galeries avec apophyses, etc. Il faut bien admettre, en l'absence de toute autre explication possible, que la roche, schiste ou grès, a pu se frayer un chemin dans le charbon encore mou, par suite de la pression qui régnait dans le toit, soit par suite du poids des sédiments ou de celui de la couche d'eau, mais pression évidente. Les deux cas suivants montrent bien la transition avec les veines originairement anormales. Dans la veine Euréka du Leicestershire, il y a des amas de grès à stratification entrecroisée qui démontrent à l'évidence que durant le dépôt du charbon, des courants assez violents pour produire ce genre de stratification parcouraient le fond du bassin où se déposait le charbon (**58**). La veine Twoyards du Yorkshire est sujette à s'épaissir fortement (**78**, pp. 291-193, fig. 30 et 31). Le fait est dû à l'apparition, dans la veine, d'amas de grès et de schiste en masses très obtuses.

Nous passons maintenant à l'étude des veines qui se sont formées certainement dans des conditions anormales décelées par leurs allures.

Un des exemples les plus remarquables est celui du *Thick-coal* du South-Staffordshire. Il a été figuré par Beete-Jukes (**10**, p. 184, fig. 4). Sur une distance d'environ 1,300 pieds, la couche, qui a environ 30 pieds de puissance, est réduite à son lit supérieur (10 p.). Au-dessous vient un renflement de 30 pieds de grès et de schiste qui remplace le reste de la couche et ronge la couche de minerai de fer exploitée (*Gubbin tronstone*) gisant sous la veine. Latéralement, ce renflement lenticulaire s'effiloche en une infinité de languettes pointues pénétrant dans la veine, laquelle, de son côté, envoie dans le renflement les mêmes languettes de beau charbon brillant. Au-dessus et en-dessous, les couches sont bien régulières. L'auteur, avec raison, admet qu'il s'agit, non pas d'un *wash*, mais d'une formation contemporaine du dépôt de charbon. A cet endroit, personne ne pourrait admettre que ces languettes sont une formation en place, et dans ce cas il doit en être de même de la couche, dont ces languettes ne sont que le prolongement. Bulman a aussi tenu le même raisonnement en partant de la considération des amas ou veines de charbon perdus dans les grès (**26**). J'ai décrit une anomalie de veinette (**138**, fig. 7, p. 28) où, sur une échelle minuscule, on observe un phénomène identique à celui du *Thick-coal*. Il est bon de noter qu'environ 20 mètres sous le *Thick-coal* passe

un niveau marin typique. Si la couche s'était formée en place, donc au niveau de l'eau, une épaisseur de 20 m. (parfois réduite à 8 m.) aurait suffi pour combler la mer!

Plusieurs des cas que j'ai décrits (**138**) ne peuvent s'expliquer que par l'existence de courants durant ou immédiatement après le dépôt des veines. Le mémoire de Beete-Jukes est plein de cas anormaux, d'autant plus instructifs que le bassin du South-Staffordshire formait certainement le bord extrême sud du grand bassin houiller des Midlands.

Ce ne sont pas seulement les veines qui sont sujettes à présenter, dans le Houiller, les irrégularités de sédimentation. Les stampes stériles sont remplies de ces irrégularités : discordances locales, stratifications entrecroisées, allures lenticulaires, ravinements locaux, etc. Beete-Jukes en figure un cas bien typique (**10**, fig. 7, p. 196). Une couche de charbon horizontale a un toit de grès incliné de 25°. Le mémoire de Hull et Green (**78**) est rempli de coupes montrant des exemples de défaut de parallélisme. Les cas les plus fréquents sont surtout dans l'assise du Millstone-grit, où l'abondance et la puissance des niveaux de grès grossier, des conglomérats et les allures irrégulières ont depuis longtemps été attribuées à l'existence d'un milieu très agité et peu profond.

L'origine de ces allures anormales peut être éclairée par l'étude de phénomènes du même genre, plus récents, même actuels. Grand-Eury a décrit de vrais *wash-outs*, des lentilles de grès dans les couches, des discordances de stratification et identiques à celles que nous venons de rappeler des bassins houillers anglais (**63**, pp. 40 et suiv.). M. Fayol en a montré du bassin de Commentry. On en rencontre dans la formation houillère embryonnaire des *Estuarine series* de Jurassique du Yorkshire (**14**). Enfin, on peut en voir au toit des couches de tourbe quaternaire et les exemples de ce dernier cas seraient innombrables si l'on décrivait les fouilles faites dans les tourbières littorales (**17**).

Ces irrégularités de stratification locales établissent une transition avec les bassins limniques du Centre de la France et démontrent leur communauté d'origine par transport. Elles servent à montrer, comme je l'ai déjà dit, que si la houille s'était formée dans des marais sans profondeur, les stampes stériles seraient toujours d'allures anormales. Pour avoir les allures régulières, parallèles, des grands bassins, il faut une profondeur suffisante d'eau pour que l'agitation violente mélange, disperse et étale les apports sédimentaires du dehors, dans toute l'étendue

du bassin. Il faut ensuite qu'à cette agitation succède une période de grand calme durant laquelle les sédiments puissent se classer et se précipiter. Seule une cuvette marine (*lato sensu*) possède ces conditions.

CHAPITRE IV.

Mouvements du sol. Profondeur d'eau, cycles sédimentaires, transgressions et régressions durant la période houillère.

Ces côtés du problème ont entre eux de telles connexions qu'il faut bien les traiter ensemble. En effet, plusieurs grands bassins ont une épaisseur supérieure à 3,000 mètres. Néanmoins le caractère des sédiments ne correspond pas à ce que l'on devrait trouver, si les bassins avaient eu dès l'origine et avaient conservé de pareilles profondeurs. Il faut donc faire intervenir des mouvements du sol pour expliquer cette anomalie. D'un autre côté, il y a, dans toute la hauteur du Houiller, plusieurs niveaux franchement marins, alternant avec les veines de charbon que les autochtonistes considèrent comme formées en place, c'est-à-dire à une profondeur de quelques mètres seulement (5 mètres au maximum). De cette alternance découle la nécessité de faire intervenir autant de mouvements, en sens inverse, qu'il y a de ces intercalations marines. Mais si les couches de charbon se sont formées à si faible profondeur d'eau, il n'en est pas de même des épaisses intercalations de roches stériles visibles entre les veines. Pour chacune des veines et de sa stampe stérile, il est donc nécessaire de faire intervenir deux mouvements du sol, en sens inverse. La profondeur d'eau, dans les bassins en formation, a donc dû varier incessamment et, avec elle, la nature des sédiments. Enfin, l'invasion, puis le recul de la mer sont des phénomènes bien connus en géologie, où on les étudie sous les noms de transgression et de régression. Il y a là, on le voit, toute une série de phénomènes géologiques intimement liés aux théories de la formation des gisements houillers et dont plusieurs ont été laissés dans l'ombre par les protagonistes de théories, même géologues. Nous allons essayer de combler cette lacune en examinant ces divers points du problème.

Dans chaque cas nous montrerons quelle est, des deux théories en présence, celle qui explique le mieux et le plus simplement les faits connus.

1re Observation.

Mouvements du sol. — Personne ne saurait nier que dans les grands bassins du Nord-Ouest de l'Europe il y a eu quelques grands mouvements du sol, en sens inverse. Le chanoine Delépine a montré que dans l'énorme bassin qui s'étendait de l'Armorique et des Vosges, au Sud, aux montagnes de l'Ecosse et de la Scandinavie, au Nord, il y a eu une grande transgression à l'époque dinantienne (**39**). L'affaissement qui provoqua cette transgression continua au début du Houiller (assise de Chokier), mais en se localisant. Et le même phénomène se poursuivit durant tout le Houiller, provoquant la formation de géosynclinaux, localisés dans le grand bassin, avec des irrégularités caractérisées par des transgressions ou des régressions locales, surtout bien visibles, en Angleterre, sur les deux flancs du grand anticlinal du Brabant-Wales (**155**).

Mais, outre ces grands mouvements, la théorie autochtone est obligée d'en faire intervenir une quantité d'autres, comme nous le disions au début de ce chapitre. En considérant chaque mur comme un sol de végétation, elle doit, pour chacun d'eux faire appel à une émersion d'une précision mathématique, capable d'amener le futur mur juste au niveau voulu. Quelques mètres trop bas, le sol ne saurait se couvrir de forêts, et quelques mètres trop haut, la forêt houillère marécageuse n'existerait pas. Et pour les couches régulières et étendues, ce niveau précis devrait être atteint sur des milliers de kilomètres carrés. On a calculé que dans le bassin houiller de Mons, il y a au moins 400 murs de passées, veinettes et veines, correspondant à autant de soulèvements du sol, suivis d'autant d'affaissements, car presque tous sont surmontés d'une stampe stérile dont personne ne saurait nier le caractère de sédimentation mécanique. Qui plus est, nous avons montré, au chapitre II, p. 127, que la stratification régulière de ces stampes implique que sa sédimentation s'est faite dans des milieux comparables à une mer. Pour se rendre compte du mécanisme compliqué que nécessite la formation sur place, on ne saurait mieux faire que de lire la description minutieuse que donne J. W. Dawson des mouvements du sol requis pour former les 2,800 pieds de Houiller qu'il étudie dans la plus belle coupe du monde (**34**, pp. 15 à 30), coupe qui n'est qu'une partie des 14,000 pieds que montre le Houiller de la Nouvelle-Ecosse.

De plus, les mêmes phénomènes auraient dû se passer simultanément dans les grands bassins du Nord de l'Amérique du

Nord-Ouest de l'Europe, du Donetz, ce qui rend ce mécanisme de mouvements totalement inadmissible. Les autochtonistes l'ont bien senti, et, dans Dawson, on trouve déjà ébauchée la théorie nouvelle, par laquelle on a tenté d'expliquer l'énorme remplissage des grands bassins houillers. C'est la théorie de la formation des géo-synclinaux. Nous avons la chance d'avoir un exposé tout récent de cette théorie déjà ancienne, dû à la plume de M. P. Pruvost (**109**), qui l'a complété par la notion féconde de la subsidence. Cet exposé nous sera d'autant plus précieux que parmi les faits que l'auteur étudie, à l'appui de son argumentation, il y en a un qui concerne précisément le remplissage des bassins houillers. Si les bassins houillers ne sont pas tout à fait des géosynclinaux types, tels que les concevait M. Haug, personne ne saurait douter que c'étaient des régions intermédiaires entre les aires continentales et les vrais géosynclinaux, mais bien plus rapprochées de ces derniers, comme le montre avec raison M. Pruvost. Tant que l'on reste dans les grandes lignes du mécanisme de comblement des régions synclinales houillères, la thèse de l'auteur est si solidement établie qu'on ne saurait pas ne pas adopter ses conclusions. Le désaccord commence, pour moi, lorsqu'on aborde le détail du mécanisme des petits mouvements, par lequel l'auteur, à la suite de beaucoup d'autres d'ailleurs, cherche à expliquer les changements lithologiques provoqués par les variations de profondeur d'eau, au niveau des veines de charbon et de leur entourage. Pour lui, comme pour les partisans de la formation sur place, le mur correspond à une phase d'émersion presque complète (quelques décimètres d'eau). L'auteur, se séparant en cela des autochtonistes purs, admet qu'un affaissement a commencé à la base de la couche de charbon, pour devenir brusque lors du dépôt du toit. La sédimentation de ce toit et de la stampe stérile qui lui fait suite aurait, petit à petit, comblé le bassin, de façon à produire une nouvelle quasi-émersion (mur), puis une nouvelle veine et ainsi de suite. Par conséquent, l'affaissement affectant le bassin serait continu, toujours positif donc, mais saccadé. Il m'est impossible d'admettre ce mécanisme de mouvements du sol, pour les raisons suivantes :

A) Quatre cents fois de suite, dans le bassin du Nord de la France, un affaissement brusque, assez important parfois pour provoquer une invasion marine, aurait, mathématiquement, suivi la phase de profondeur d'eau minima. Quelques coïncidences seraient déjà difficiles à admettre; quatre cents sont pure-

ment inadmissibles, car on ne voit aucune connexion de cause à effet entre les deux phénomènes : émersion et affaissement. Si l'on admet que l'affaissement est dû au poids des sédiments, personne n'admettra que de minces stampes stériles puissent avoir cet effet, ni surtout à quelques décimètres près d'épaisseur. Si l'affaissement est dû à des causes tectoniques et profondes, la connexion paraît encore plus improbable. Il s'agirait donc de quatre cents coïncidences fortuites.

B) Il arrive fréquemment que deux veines se suivent de près, à deux ou trois mètres par exemple, et cela sur de vastes étendues. L'inférieure peut avoir et a souvent un toit identique à celui d'une veine recouverte par une stampe épaisse. Ce toit peu épais, un mètre par exemple, aurait suffi pour combler la dépression au point qu'un autre mur avec une autre veine puisse immédiatement se reformer. L'affaissement total n'aurait donc été que de 2 à 3 mètres. Quel est le géologue qui admettra qu'un toit de schiste très fin à stratification bien régulière ait pu se former dans une cuvette étendue, de si faible profondeur. Ou alors il faut admettre que les lois régissant la sédimentation houillère diffèrent totalement de celles de maintenant.

C) Lorsque le toit des veines ou passées est constitué par des roches à faune marine, même à faune de haute mer, comme les toits à Goniatites, ou même par des calcaires marins, à crinoïdes par exemple, on ne peut pas admettre que la profondeur à laquelle ce toit s'est formé ait été faible. Or, ce cas est la règle dans les strates de la base de notre Houiller et dans tout le Houiller des bassins du type mississipien. Certaines de ces veines sont connues sur des étendues considérables, des centaines et même des milliers de kilomètres carrés. La profondeur de la mer devait donc être notable. Or, les veines ou passées du Houiller inférieur belge se suivent parfois de très près, à un mètre ou deux. Même si l'intervalle était plus grand, on ne pourrait admettre que cette faible épaisseur de sédiments stériles aurait suffi pour combler une mer et pour permettre à son fond de devenir un sol de végétation aérienne.

D) Non seulement il y a des veines à toit marin, mais nombre de veines ou passées du Houiller inférieur ont un mur reposant sur des roches, calcaires à crinoïdes, ou schistes à faune marine. On aurait donc là une superposition directe de deux niveaux, l'un de mer et l'autre, le mur, émergé, sans sédimentation intermédiaire. Donc, dans ce cas, comme dans les précédents, la nécessité d'alternances de mouvements positifs et

négatifs s'impose, dans l'hypothèse de la formation sur place. Or, il y a au moins une trentaine de veines ou passées réalisant les deux derniers cas, et le deuxième cas est encore plus nombreux. On n'échappe donc pas à la nécessité de mouvements si nombreux et si délicats qu'ils deviennent inadmissibles. Voyez ce qui devrait se passer dans le cas d'une veine à toit marin peu distante d'une autre veine semblable inférieure et ayant un mur reposant sur un niveau marin, cas qui n'est pas rare. Il faut d'abord admettre un soulèvement brusque du niveau marin inférieur avec formation de la roche du mur, dans des eaux probablement encore marines. Pour chasser la mer, il faut que ce mur soit soulevé au-dessus du niveau de la mer, puis redescendu sous le niveau de l'eau, juste à quelques décimètres, pour permettre la vie d'une forêt aquatique. Pour former le toit, le tout doit s'affaisser de nouveau sous la mer, pour se soulever de nouveau et recommencer les mêmes opérations. Pour se rendre compte de ces faits, je renvoie aux nombreuses stampes normales que j'ai publiées (**142**) de notre Houiller inférieur, où sont représentés, les niveaux fossilifères et les formations charbonneuses, à l'échelle. J'ai déjà précédemment (cf. p. 105) fait mention de ces niveaux marins au mur des couches. Je me bornerai à rappeler le cas du sondage de Blaton (cf. *op. cit.*, pl. 58). Sur 127 mètres d'épaisseur, dans l'assise d'Andenne, il y a sept prétendus sols de végétation alternant avec vingt niveaux fossilifères marins dont huit niveaux de calcaires à crinoïdes.

Dans l'hypothèse que je préconise, toutes ces difficultés disparaissent. On se trouve en présence d'un géosynclinal en voie d'approfondissement progressif, avec subsidence et sédimentation maximum au centre, comme M. Pruvost l'a si bien montré dans le travail précité. L'approfondissement peut ne pas être régulier. Parfois il est si fort que la mer peut revenir occuper un bassin d'où elle avait été chassée. La profondeur peut diminuer, augmenter, comme nous le montrerons ci-après, mais reste presque toujours assez notable pour qu'on puisse comparer le bassin à une mer intérieure, salée ou non.

2e Observation.

Profondeur d'eau des bassins houillers. — Les critères au moyen desquels on détermine la profondeur de l'eau dans un bassin marin sont : la nature des sédiments, leur allure et la faune de ces sédiments. Nous réserverons l'étude des déductions à tirer de la faune pour le chapitre où nous parlerons de celle-ci.

Dans les traités de géologie on expose quelle est la répartition des divers sédiments dans la mer et l'on montre que c'est la profondeur qui préside à la répartition des divers sédiments. Il est presque superflu de dire que cet exposé est très théorique et s'applique surtout aux bandes de sédiments terrigènes des océans et qu'il y a de nombreuses exceptions, surtout dans les petites mers et les mers intérieures. En effet, ce n'est que par voie indirecte que la profondeur règle la sédimentation, en faisant varier l'agitation de l'eau, laquelle est le facteur direct du classement des sédiments. Aussi, chaque fois que, par suite de circonstances locales, il se crée, dans une zone agitée, un milieu calme, la sédimentation y diffère de celle des environs et vice versa. Chaque fois qu'il y a superposition ou juxtaposition de sédiments différents, il ne faut pas faire intervenir des changements de profondeur, dus à des mouvements du sol. Il ne s'agit souvent que de phénomènes locaux. Ainsi, dans la partie méridionale de la mer du Nord, la profondeur n'y dépasse guère 20 mètres, et cependant, dans certaines cuvettes, appelées rades, il se produit de la sédimentation argileuse, au milieu d'un ensemble sableux ou même graveleux. Comme l'agitation résulte des vents et des grands courants marins, l'influence du climat doit être prépondérante; mais nous n'en ferons pas l'étude ici, la réservant aussi, vu son importance, pour un chapitre spécial.

On sait aussi que le vent n'est capable de provoquer des vagues de tempête que là où il peut agir sur des masses d'eau profonde; sans cela le frottement sur le fond suffit à contrebalancer son action. C'est pour cela qu'en dehors des mers, les seuls lacs qui présentent des tempêtes sont ceux qui ont des profondeurs comparables à celles des mers : le Tanganyka, le Baïkal, les grands lacs du Canada.

Reste maintenant la question de l'allure des sédiments houillers. Le sujet est si vaste qu'il m'est impossible de l'aborder avec fruit. Je renvoie à un traité récent (**166**), où l'on pourra voir la complexité des problèmes soulevés et le plus souvent laissés sans solution. Nous nous contenterons de quelques aperçus, car, il faut bien le confesser, tout reste à faire dans ce domaine. Il y a un travail de titan à exécuter pour relever les observations, les coordonner et les mettre sous forme de coupes continues, aussi rapprochées que possible, pour pouvoir tirer des conclusions. Une vaste collaboration pourra seule mener l'œuvre à bonne fin.

1° Il y a dans notre Houiller, à tous niveaux, des bancs épais

et continus de grès très pur, souvent grenu, et plusieurs de ces grès montrent des lits de conglomérat et de brèche;

2° Il y a des bancs très continus et épais de schiste argileux fin, sans faune marine type;

3° Il y a des horizons très continus de roches généralement argileuses, avec faune marine type souvent accompagnés de bancs fort continus de calcaire, surtout de calcaires à crinoïdes;

4° Mais la plus grande partie de l'épaisseur du Houiller est formée d'un complexe d'une variété excessive où l'on trouve, en mélanges ou en alternances, les trois matériaux, sable et argile surtout, plus rarement le calcaire. Dans le chapitre consacré à la sédimentation, nous avons montré que l'allure de ces roches diverses est tantôt très régulière, tantôt moyennement régulière. Cette allure ne devient irrégulière, comme celle des bassins lacustres, que très exceptionnellement et très localement.

Ces caractères me portent à croire que les cuvettes houillères, surtout dans leur centre (comme en Belgique), étaient des cuvettes du type marin à profondeur variable, surtout dans le temps, cette profondeur n'étant devenue forte que durant certaines invasions marines du début et n'étant devenue très faible que lors du dépôt de certaines stampes stériles épaisses et riches en roches siliceuses.

Pour apprécier la profondeur à laquelle se sont déposés certains sédiments, on a cherché à utiliser de curieux indices, tels que les *Ripple-marks*, les traces de gouttes de pluie, les crevasses de dessiccation (*sun-cracks*), les pistes d'animaux, etc. Lorsqu'on lit ce qui a été écrit sur ces sujets, on est bien obligé de se dire qu'il est bien difficile de se faire une opinion sur l'origine de ces indices et surtout sur leur utilisation.

3e Observation.

Cycles sédimentaires. — Par suite de nombreux changements de profondeur et de changements de conditions de milieu, la composition lithologique des sédiments houillers a pu fréquemment varier. Il importe de voir si, dans cette variété, il n'y a pas un certain ordre d'où l'on pourrait déduire des cycles sédimentaires. En effet, quand de pareils cycles s'observent, on peut les utiliser pour faire l'historique des événements et remonter aux causes qui les ont produits. J'ai déjà montré (**147**, p. 113) que de pareils cycles se voient, dans le Houiller, autour de chaque veine ou passée. En règle très générale on observe, en effet, la succession de roches suivantes, se répétant continuellement de bas en haut : *a*) un niveau de grès; *b*) du psammite ou

du schiste psammitique, avec quelques radicelles; *c*) du mur schisteux ou schisto-psammitique; *d*) une veine, veinette ou passée; *e*) du toit de schiste argileux fin passant progressivement; *f*) à du schiste psammitique; *g*) puis à du psammite ou à du grès; *h*) une stampe stérile formée d'alternances des mêmes roches ou d'une partie seulement. Les termes *e*) *à h*) peuvent manquer en tout ou partie, quant deux veines se forment successivement. En pareil cas le terme *a*) peut aussi manquer, mais souvent l'importance de sa présence est indiquée par le fait qu'un banc très mince de grès ou de psammite s'observe encore, malgré tout, entre les deux veines ou passées. Interprété d'après les lois générales de la sédimentation, pareil complexe indique deux phases de profondeur minima, durant lesquelles il s'est déposé du grès. Entre ces deux extrêmes il s'est produit une phase d'approfondissement dont le maximum a coïncidé avec le début de la formation du toit *e*), surtout dans le toit marin. Cet approfondissement est évident dans la succession *a*) à *c*) et surtout dans la succession *a*) à *e*) puisqu'on part d'une roche déposée à faible profondeur, le grès, pour aboutir à la roche la plus profonde, même à la roche marine, le toit. Il est donc évident, surtout dans les cas nombreux où tous ces termes passent les uns aux autres par transition insensible, qu'il est contraire aux lois de la sédimentation de faire du mur et de la veine un épisode d'émersion. Il ne pourrait s'intercaler qu'en brisant le cycle et en nécessitant, au début et à la fin, des mouvements contraires à ceux que démontre le cycle. Ces mouvements devraient être brusques, ce que contredit la transition. Enfin, dans la théorie autochtone, il y a encore une autre contradiction avec les lois de la sédimentation. Tout le monde admet que les stampes stériles sont formées de roches sédimentaires bien stratifiées et qui par conséquent doivent s'être formées à une certaine profondeur pour pouvoir acquérir leur régularité de stratification. Donc, par rapport au mur et à la veine émergés, les stampes stériles représenteraient une phase d'approfondissement. Comment se fait-il alors que c'est justement dans ces stampes que se trouvent les roches au facies le moins profond, les conglomérats et les brêches, les allures les plus irrégulières, lenticulaires, les stratifications entrecroisées et les indices d'émersion : *sun-cracks*, *ripple-marks*, gouttes de pluie, pistes de vers, etc.?

Bulman avait déjà montré (**25**, p. 360) que la succession des roches au voisinage de la veine indique pour celle-ci, non pas une phase d'émersion, mais bien une phase d'approfondissement.

Grand'Eury a aussi montré que, de toutes les roches du Houiller, c'est la houille qui est en couches les plus régulières (**63**, pp. 106 et 39).

J'attribue la succession de roches dénotée par ce cycle à un classement par densité. Il y a un cas où l'on observe le même cycle : grès, *underclay* et charbon, dans des conditions telles que personne ne saurait douter qu'il s'agit d'un classement de matières transportées avant dépôt. Je veux parler des gisements houillers, d'un type unique au monde, qu'on trouve en bordure du gisement de la vallée du Mississipi, dit *Western interior*. Dans les États de Missouri et d'Iowa, en dehors du bassin houiller, affleurent de larges bandes de calcaires dinantions, dévoniens et cambro-siluriens. Ces calcaires ont subi, avant le Houiller, une dissolution intense dont Ball explique les causes (**6**). Il en est résulté la série classique de cavernes, gorges, gouffres, etc. Elles ont été, par après, remplies de minerais ou de gisements houillers extraordinaires, où l'on observe souvent la superposition susdite, dans des cavernes complètement remplies. Le charbon est tantôt ordinaire (*bituminous*), tantôt du *cannel coal*. Un peu d'argile résiduaire entoure l'amas parfois énorme. Il y en a qui ont donné 75,000 tonnes de charbon avec 20 m. de puissance et plus. Souvent l'*underclay* et le grès font défaut. On trouvera des coupes de ces curieux gisements dans (**101**) et dans (**6**), où, à la page 131, fig. 10, on montre des cavernes, dans du calcaire dévonien, remplies à bord de ces trois roches houillères. Ces gisements prouvent à l'évidence un véritable écoulement de matières charbonneuses, d'argile et de sable ayant finalement produit du charbon et du *cannel coal*, comme dans les couches régulières du bassin voisin. Il serait intéressant de soumettre ces combustibles à une étude micrographique, pour voir s'ils possèdent les mêmes caractères que dans les gisements stratifiés réguliers.

4e Observation.

Transgressions. — Régressions. — Le nombre de niveaux marins connus dans le Houiller augmente continuellement, en même temps qu'on reconnaît leur constance sur des étendues énormes. Non seulement ils existent dans les niveaux inférieurs du terrain, où on les connaît depuis longtemps, mais il y en a aussi, mais moins, jusqu'au sommet, dans les strates supérieures. Nous en reparlerons d'ailleurs. Si la théorie autochtone était vraie, chaque invasion marine suivant une couche d'eau douce correspondrait au phénomène bien connu

en géologie sous le nom de transgression. La succession inverse dénoterait une régression. L'histoire de la formation de l'écorce terrestre fourmille d'exemples de ces deux phénomènes. Leur étude a permis d'en connaître les circonstances, les caractères, les lois auxquels ils obéissent. Ces lois bien connues semblent, comme nous allons le montrer, avoir été terriblement mises de côté par les partisans de la formation sur place, quoique leur existence, dans leur hypothèse, soit inéluctable. Ces deux phénomènes étant, dans leurs caractères, identiques, sauf que l'ordre des choses est en sens inverse, nous étudierons seulement les transgressions, d'ailleurs mieux connues, car la transgression a plus de chances d'effacer la trace de la régression précédente que la régression n'en a d'effacer la transgression.

Disons d'abord que les transgressions que la théorie autochtone nécessite, pour passer d'une couche supposée continentale à son toit marin, devrait être, le plus souvent, une grande transgression. Les niveaux marins du Houiller inférieur du Nord-Ouest de l'Europe, les deux grands niveaux du Houiller supérieur des mêmes régions, les niveaux marins du Houiller des Apalaches et du bassin du Mississipi sont maintenant connus sur des dizaines de milliers de kilomètres carrés. Cette observation préalable est nécessaire pour montrer qu'il ne faut pas chercher des termes de comparaison entre ces transgressions et les cas, souvent cités, de petites tourbières ou forêts littorales, envahies par la mer (cf. p. 143). Un phénomène qui affecte certains caractères quand il se développe sur une faible surface changera parfois même de sens s'il doit affecter des surfaces ou des distances très fortement supérieures. C'est pour cela aussi qu'il y a souvent un abîme entre la réussite d'une expérience de laboratoire et sa mise en œuvre dans la grande industrie. Pour faire une bonne besogne, nous devons donc prendre nos termes de comparaison parmi les grandes transgressions connues dans l'histoire de la formation de la croûte terrestre.

Une transgression produira d'autant plus d'effet : 1° Qu'il y aura plus de différence entre les états consécutifs. Ainsi une transgression marine, sur une autre de même genre, produira moins d'effet que sur un continent, et sur ce continent elle produira plus d'effet sur les régions en fort relief que sur les grandes plaines basses; 2° Comme dans toute force mécanique, l'énergie de la transgression sera proportionnelle à sa masse (indiquée par son étendue) et à sa vitesse, dépendant de la dénivellation et de l'épaisseur de l'eau qui en résultent. En effet, le frottement, se répartissant sur une masse considérable, retarde

moins la vitesse; 3° La brusquerie de la transgression est aussi un facteur capital d'énergie.

Or, le passage du régime continental d'une veine au facies profond de son toit marin présente plusieurs des conditions indiquées ici comme capables de provoquer une grande, brusque et radicale transgression.

Par quels indices se manifestent les grandes transgressions? La mer commence par balayer toutes ou presque toutes les formations continentales que la mer rencontre sur son passage et qui, n'ayant pas encore été métamorphosées, sont meubles et incapables d'opposer de la résistance. Voilà pourquoi, dans la description de l'écorce terrestre, les formations continentales font si mince et si triste figure, malgré qu'il y ait eu, de tout temps, des continents. L'enlèvement des formations antérieures à la transgression s'accompagne de ravinements, d'érosion et la base des terrains transgressifs est rarement plane et régulière. La mer entraîne avec elle les matériaux tendres et légers et avec les roches dures elle forme des poudingues, conglomérats, cailloutis et graviers de base. Puis la profondeur d'eau augmentant en un point donné, on voit se déposer des sables, puis finalement des argiles. Je suis presque confus de devoir rappeler ces phénomènes classiques, mais il le faut bien pour montrer que leur absence complète, au sommet d'une couche à toit marin, prouve à l'évidence qu'il n'y a pas eu là la moindre transgression. Bien loin d'avoir là la succession classique : cailloutis, puis sable, puis argile, on a juste le contraire : argile, puis sable, puis cailloutis. Et cependant, si ces phénomènes ne se sont pas produits, ce n'est pas parce qu'il y avait une impossibilité quelconque, car la succession cailloutis, sable et argile se voit dans le remplissage d'un *wash-out*, comme nous l'avons montré plus haut (p. 159), avec accompagnement de ravinements des couches sous-jacentes.

Comment les autochtonistes ont-ils essayé de combattre cette grave objection à leur théorie? Ils ont expliqué l'invasion marine par des ruptures de barrages naturels, de cordons littoraux ou de rangées de dunes que personne n'a d'ailleurs jamais vus. Cette explication est bonne tout au plus pour expliquer l'invasion d'une petite tourbière littorale, et son recouvrement par des dépôts marins, sans ravinements. Même en pareil cas, la transgression commence presque toujours, non pas par un dépôt d'argile, mais par du sable, et lorsque l'étendue de la transgression devient notable, alors les phénomènes changent de caractères, pour prendre ceux que nous avons décrits plus haut.

Nous en avons un magnifique exemple autour de la mer du Nord, dans des conditions qui se rapprochent autant que possible de celles qui auraient dû exister si la formation d'un toit marin était due à une transgression marine. Je veux parler de l'envahissement par la mer, après la période romaine, de la grande couche de tourbe qui se déposait dans les Pays-Bas, au moment de l'invasion de ce pays par Jules César.

Cette couche de tourbe s'étend, en Belgique, dans toute la plaine maritime, c'est-à-dire partout où le niveau du sol est plus bas que + 5 m. Mais on sait aussi que cette couche s'étend sous la mer du Nord, comme le prouvent les gros blocs de tourbe à faune continentale que les tempêtes rejettent sur nos côtes. Cette extension a dû être jadis très grande, car les hauts fonds de la partie méridionale de la mer du Nord, le Dogger-bank, par exemple, sont recouverts par de la tourbe à faune continentale. Les nombreux dragages exécutés durant la guerre pour repêcher des navires ou des sous-marins l'ont démontré. Comme M. Blanchard l'a exposé (**15**), la mer envahit l'immense plaine tourbeuse après la période romaine. L'invasion fut lente et calme et ne prit jamais des allures catastrophiques. On devrait donc avoir là une transgression comme celle qui aurait formé un toit marin du Houiller. Quand on étudie la surface de la transgression susdite, on constate qu'elle ne présente pas du tout les caractères de la base d'un toit marin. La tourbe, alors ou plus tard, a été, par places, fortement érodée et il ne nous en est plus resté que des lambeaux sur les hauts fonds, séparés par des dépressions marines sableuses actuelles. Le plus grand lambeau, celui de la plaine maritime hollando-belge, est lui-même tronçonné en lambeaux par des chenaux remplis de sables marins, car durant tout le moyen âge cette région était un archipel, comme la Zélande actuelle. Encore plus en détail, la surface de la tourbe, là où elle a été préservée, n'a rien de la régularité de la base d'un toit marin. C'est une surface ondulée, ravinée. C'est pour cela que l'épaisseur de la tourbe varie continuellement, comme on l'a vu dans les grands travaux (port d'Ostende, canal de Bruges à la mer, etc.), et comme le montrent les coupes de nombreux sondages ou fouilles pratiqués dans la région, Ce qui augmente encore l'irrégularité de la puissance de la tourbe, c'est que sa surface inférieure, une pénéplaine marine cependant, est loin d'être plane. Il y avait, dans la plaine, des îlots émergés (la station de l'âge du fer de La Panne, l'îlot de terrain panisélien entre Blankenberghe et Wenduyne).

Enfin la première couche déposée, fort irrégulière, est le plus

souvent du sable marin et l'argile dite des Polders n'est apparue qu'après, parfois même longtemps après, comme je l'ai montré récemment (**152**). L'ancien réseau fluviatile n'a pas été oblitéré, comme le montre le contour de la zone poldérienne, et ce réseau s'est rapidement reconstitué, morcelant à la fois la tourbe et les formations déposées, pendant l'invasion de mer.

On le voit donc, tout diffère d'avec les caractères d'un toit marin.

On doit donc en conclure qu'il n'y a pas eu de transgression pour chaque toit marin, que la théorie autochtone rend cependant inéluctable. C'est la preuve que la théorie n'est pas soutenable.

Dans l'hypothèse que je préconise il n'y a aucune nécessité de faire intervenir, dans toute l'étendue d'un bassin, de nombreuses transgressions, pour la bonne raison que la mer ou une grande cuvette n'a jamais cessé d'y exister. S'il y a eu des émersions ou des hauts fonds, ils ne coïncident pas avec le dépôt des veines, mais avec celui des stampes stériles les plus épaisses. Il y a eu des approfondissements saccadés, dus à des causes tectoniques et dont les conséquences transgressives ne se voient que sur les rivages des bassins, où on les constate là où ces rivages sont bien conservés (sur le bord Nord du bassin des South-Wales, par exemple).

Il y a eu aussi des périodes de faible profondeur dues, tantôt à des mouvements négatifs, plus souvent à une sédimentation active. Enfin, la cuvette a pu se dessaler par évaporation ou par communication plus ouverte avec les océans carboniférens existant certainement au voisinage.

CHAPITRE V.

Corps étrangers contenus dans la houille ou les roches houillères.

§ 1. — *Corps volumineux.*

La présence, au sein des couches de charbon, de cailloux de roches diverses, est un fait si inattendu et si gros de conséquences, qu'il est utile de lui faire une place dans ce travail, car il est de nature à éclairer le sujet qui nous occupe. Il y a déjà longtemps que l'on a constaté, en Angleterre naturellement, la rencontre de cailloux roulés, de dimension notable, formés de quartz filonien, de granite et de quartzite, dans le charbon de

veines de divers bassins houillers anglais. Plus tard on en trouva dans la plupart des bassins de ce pays, de l'Ecosse, des Etats-Unis, en Westphalie, en Belgique, en Silésie, en Tchécoslovaquie, en France et en Pologne. On en a cité des milliers, et si l'on tient compte des circonstances difficiles dans lesquelles les trouvailles doivent se faire, et que j'ai énumérées (**134**, p. 83), on peut répéter ce que je disais là, que ce ne sont pas les cailloux qui sont rares, mais les chercheurs. La preuve la plus décisive en a été fournie par la façon dont ont été faites les découvertes bien connues de Ch. Barrois, dans le bassin houiller du Nord de la France. On n'y avait encore signalé aucune trouvaille de ce genre, lorsqu'il y en avait plusieurs dans son prolongement, en Belgique, quand M. Barrois se décida à entreprendre les recherches. En quatre mois il en découvrait près de 200 et leur étude lui permettait de nous donner le travail le plus instructif, et de loin, que nous possédions sur ce sujet (**8**), et dont la bibliographie [1] couvrirait d'ailleurs des pages. C'est au travail de M. Barrois que nous emprunterons nos principales conclusions, car il présente, sur tous les autres travaux, sans exception, le grand avantage d'être le résultat d'une étude systématique, au cours de laquelle on a tout recueilli, tandis que les autres trouvailles sont le résultat d'une sélection pratiquée par les premiers chercheurs, les ouvriers mineurs, que certains caractères guident dans leurs récoltes.

De l'ensemble des découvertes faites on peut déduire les faits principaux suivants :

a) Il y a des cailloux de toutes les formes, mais les cailloux absolument anguleux sont rares; les cailloux bien roulés, au contraire, sont la majorité et même la très grande majorité, si on laisse de côté les trouvailles de M. Barrois.

b) Il y en a de toutes dimensions et de tous poids. Généralement, ils pèsent moins d'un kg., mais il y en assez souvent qui sont un peu plus pesants, et il y en a quelques-uns dont le poids va de 15 à 25 kg. Au delà, ce sont des raretés que l'on compte par unités : un de 55 kg. (Silésie); un de 75 kg. (Nord de la France); 100 kg. (Etats-Unis); 125 kg. (Nord de la France); 200 kg. (États-Unis). M. Stirrup (**158**) en signale un en grès pesant 810 kg., trouvé dans le toit d'une veine (Lancashire). Et M. Gresley rappelle (**69**) la découverte d'un caillou, dans la

---

[1] Pour ne pas allonger démesurément la bibliographie de ce travail, je renvoie à la liste que j'ai donnée jadis (**150**) des publications où j'ai puisé les renseignements utilisés ici.

même position, qui par ses dimensions doit peser au moins autant. Il était en grès grossier (Yorkshire).

c) Il y a des cailloux brisés dont les morceaux sont restés ensemble (Nord de la France, Pologne).

d) On en a trouvé depuis l'assise inférieure du Houiller namurien (assise de Chokier) jusque dans les niveaux supérieurs du Westphalien et même dans les veines de charbon permiennes.

e) Les huit dixièmes de ces cailloux sont formés de roches houillères. Parmi ces roches, il y en a dont l'origine est connue. Les plus nombreux sont formés d'un quartzite à éclat gras, conchoïdal, plus ou moins foncé, provenant des assises inférieures du Houiller (Namurien); d'autres sont des phtanites de l'assise de Chokier. La roche formant les premiers est une des roches les plus tenaces qui existent. C'est elle qui forme les cailloux les mieux roulés, les plus réguliers. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que beaucoup de cailloux de ce quartzite sont d'une identité de caractères telle qu'il est difficile de ne pas les considérer comme ayant la même origine, quoiqu'on les ait trouvés dans des régions aussi éloignées que l'Ohio, le Lancashire, la Belgique, la Westphalie, comme l'ont reconnu certains auteurs (M. Stirrup) et moi-même.

f) En dehors des poudingues ou conglomérats ou brèches, on n'en a jamais trouvé en pleine stampe stérile, mais toujours au voisinage de la couche, très rarement dans le toit (quelques cas), plus souvent dans le mur, mais presque toujours dans la veine elle-même, à toute hauteur.

g) Les cailloux non houillers appartiennent à des terrains plus anciens, sédimentaires (calcaire dinantien, quartzophyllade silurien, grès dévonien) et surtout à des roches éruptives variées ou archéennes (gneiss). C'est surtout le cas dans les petits bassins limniques français, en Silésie, etc.

h) Je ne sache pas qu'aucun caillou ait été trouvé dans une veine en un point où celle-ci possédait un toit à fossiles marins. La chose n'a rien d'impossible et le fait serait très important. La veine Hembise, qui m'a fourni six cailloux au charbonnage de Forte-Taille (**134**, p. 77), a des *Lingula* dans son toit, par places; mais ailleurs ce sont des *Carbonicola*. La veine Sand Rock de Bacup (Lancashire) a fourni des cailloux. C'est une veine du Millstone Grit, où aucune veine n'a un toit à faune d'eau douce, mais on n'indique pas si le toit était marin ou non au point de trouvaille.

i) Il est rare que les cailloux ne soient pas enveloppés dans une pellicule schisteuse charbonneuse.

j) On connaît aussi des trouvailles de cailloux de vrai charbon, au milieu des veines (**134**, p. 81). A part leur nature, ces cailloux ne donnent lieu à aucune remarque différente de celles des cailloux d'autres roches.

Enfin j'ai rappelé (**143**, pp. 44-45) que les auteurs ont signalé, en Belgique et dans le bassin des Asturies, une veinette et une veine formées par des cailloux de charbon et formées donc de matériaux transportés.

En partant de ces faits, il nous reste à expliquer la présence de ces cailloux dans un milieu où l'on s'attendait si peu à les rencontrer, et ensuite il reste à dire ce que leur présence nous apprend sur le mode de formation des gisements houillers où on les a trouvés, gisements qui sont aussi bien des bassins limniques du Centre de la France que les grands bassins paraliques que nous étudions. Ce caractère, comme bien d'autres, établit une liaison entre ces types au point de vue origine.

Il y a, dans le Houiller, des roches où la présence de cailloux exotiques n'a rien d'étonnant. Ce sont les bancs de poudingues, conglomérats ou brèches, connus à tous niveaux. Disons même qu'aucune de ces roches ne renferme de cailloux aussi volumineux que ceux que l'on trouve dans les veines. Il est bien rare que dans ces roches la dimension des cailloux atteigne celle d'un œuf. Mais trouver des cailloux, venant de loin, au sein d'une roche, la houille, si différente comme origine, comme grain et comme volume de ces cailloux, est une chose faite pour étonner. Ce qui est encore bien plus stupéfiant, c'est de trouver pareils erratiques dans une forêt en place qui aurait grandi dans un marais, sous quelques décimètres d'eau. Tous les traités de géologie figurent d'énormes erratiques au milieu de forêts même continentales, mais là on sait que le caillou est arrivé, sur place, avant la forêt, charrié par des glaciers. La forêt est venue s'installer après le retrait du glacier, autour de l'erratique. Rien de pareil n'est admissible ici. Le cas des cailloux houillers n'est pas le seul dans les temps géologiques. M. F. Kaisin a signalé un caillou de roche éruptive trouvé dans la couche d'hématite oolithique marine du Dévonien supérieur belge. M. Ball a étudié de nombreux cailloux de granite, du calcaire dinantien des environs de Dublin. De pareils hôtes ne sont pas très rares dans la craie. Pour les partisans de la formation sur place ce sont des hôtes bien gênants, car c'est dans la forêt en place qu'on n'explique pas leur rencontre. Aussi le plus souvent on les passe

sous silence. D'autres n'ont pas été aussi prudents et ont cherché à trouver une explication. Je doute fort que dans n'importe quelle Science, pour maintenir à tout prix une hypothèse, on trouve des exemples aussi frappants de savants qui n'ont pas hésité à fournir des explications dont le moins qu'on puisse dire c'est qu'elles sont fantastiques. Ainsi pour Binney, un des premiers auteurs de ces trouvailles, ces cailloux auraient été des météorites! Pour D. Stur, les cailloux de granite et d'autres roches éruptives des bassins silésiens seraient des pseudomorphoses des nodules de sidérose ! On s'étonne de voir un homme de la valeur de J. Gosselet (**1**, p. 155) émettre l'idée que les cailloux de quartzite et de poudingue houiller trouvés dans les veines belges seraient des concrétions siliceuses. A un niveau à peine supérieur se place l'idée que ces cailloux auraient été transportés par des poissons. Et tout cela pour éviter une explication qui, dans la formation par transport, est simple et naturelle. Viennent ensuite les explications réellement scientifiques; l'hypothèse du transport par les glaces. M. Barrois a examiné cette hypothèse de façon si complète que je ne puis mieux faire que de renvoyer le lecteur à son travail (**8**, p. 259). On y trouvera une excellente réfutation de cette hypothèse comme de celle du transport par les cours d'eau. Nous ne discuterons qu'une hypothèse, émise après l'apparition du travail de M. Barrois. Ce qui, dans la formation sur place, serait inadmissible, c'est l'arrivée de cailloux dans la veine, c'est-à-dire dans une forêt, durant sa formation. Cette difficulté disparaîtrait si les cailloux étaient entrés dans la veine après coup, par exemple durant la formation de son toit. M. Deltenre (**40**) et Zelechowski (**178**) sont partis de l'idée que les galets ont été déposés dans le toit durant sa formation; puis, par enlisement, ils sont descendus dans la couche. Deltenre ne donne aucune explication de cet enlisement. Il se borne à émettre une série de suppositions, parfaitement inadmissibles d'ailleurs. Un régime torrentiel, dont il ne cite d'ailleurs aucune preuve, aurait déposé quelque part, il ne dit pas à quel niveau, ces quelques cailloux dont le diamètre peut atteindre $0^{m}30$. Le torrent capable de charrier des bords du bassin jusque Mariemont de pareils galets aurait respecté les schistes fins à *Carbonicola* du toit de la veine. Il parle de ravinements dans la veine et il donne lui-même la preuve que ces ravinements sont d'origine tectonique. Le travail de Deltenre est un spécimen de ces innombrables travaux publiés sur le Houiller, où l'auteur, ayant observé, et combien sommairement, un phénomène local, se croit autorisé à en tirer des conclusions pour un problème général et des plus complexes. M. Zele-

chowski, dont je ne connais l'opinion que par le résumé qu'il en donne, adopte la même hypothèse. Ce serait la pression (laquelle?) et leur poids qui auraient fait enfoncer les galets au travers des roches stériles où ils avaient été amenés par des cours d'eau. La différence de dureté des roches stériles par rapport aux veines humides et molles aurait permis cette descente. Si M. Zelechowski a tenu compte, comme il le dit, des autres trouvailles, il a dû voir que l'influence des failles qu'il invoque est purement locale. Il n'explique pas pourquoi la pression s'est localisée sur les cailloux; il ne donne aucune preuve de l'existence de cours d'eau aux points où les cailloux ont été découverts. Ce devaient cependant être des rivières bien extraordinaires, capables de véhiculer d'énormes galets, mais en très petit nombre, et répartis, isolément, sur des hectares. La théorie de l'enlisement ne repose sur aucune observation précise, mais sur de pures suppositions. Les observations minutieuses de M. Barrois permettent de donner à cette théorie le coup de grâce. Si des cailloux volumineux comme il y en a étaient descendus au travers des toits, ils auraient laissé des traces de leur descente, comme en laisse le ver arénicole. M. Barrois cite le fait instructif d'un caillou descendant au travers d'autres roches (**8**, fig. 7, p. 264). D'après la coupe qu'il a eu la bonne idée de figurer, on voit une bombe volcanique, descendue au travers de tufs, grâce sans doute à la vitesse de sa chute, laissant derrière elle, dans ces tufs, une sorte de puits, avec incurvation des strates vers le bas, naturellement. Si l'on compare cette coupe avec celles de cailloux roulés du charbon (**8**, fig. 4-5-6), la différence saute aux yeux. Aucun galet houiller n'a laissé de trace de son passage. Au contraire, les strates du charbon, bombées vers le haut au-dessus de chaque galet, montrent que ce charbon s'est déposé sur le galet qui se trouvait donc déjà là. Ce que nous venons de dire concernant la théorie de l'enlisement montre, mieux que n'importe quelle autre preuve, que c'est uniquement par des observations aussi détaillées et aussi précises que possible, comme celles du travail de M. Barrois, qu'on fera avancer la solution des problèmes, et non par des suppositions ou des affirmations, quelque catégoriques qu'elles soient.

Une seule théorie résiste à toutes les critiques; comme M. Barrois l'a montré, c'est celle du transport par des troncs d'arbres flottants, émise, dès le début, par Phillips. J'ai essayé d'expliquer (**134**, p. 85) les cas embarrassants et les quelques objections que l'on fait encore à la théorie de Phillips. J'ajouterai ici que le fait cité par M. Zelechowski de cailloux trouvés dans une

veine et broyés ou montrant des traces de fortes pressions s'explique bien plus naturellement dans le cas du transport par les racines d'arbre que par l'enlisement. En effet, un caillou enclavé dans la souche d'un arbre jeune subit, par l'accroissement des racines, des pressions énormes (voir le cas que je cite d'une borne ainsi enlacée). Si la théorie de Phillips est vraie, et il en serait de même dans le cas même d'un transport par les glaces, de haut en bas du Houiller, il y aurait des veines qui se seraient formées, non pas dans un marais, mais sous une profondeur d'eau apte à permettre la flottaison d'arbres capables de porter de fortes charges dans leurs racines, donc flottant verticalement. Cela suppose une couche d'eau telle que toute végétation sur place est rendue impossible. Les partisans de l'autochtonie l'ont bien senti; de là leur silence sur ce point du problème. Le cas du R. P. G. Schmitz est typique au point de vue psychologique. Partisan, au début, de la théorie allochtone, du moins pour les veines (mais non pour le mur), il recherchait les galets avec zèle et leur attribuait leur véritable signification. Quand, plus tard, il fut converti par Potonié à la théorie autochtone intégrale, il dut accomplir la besogne toujours embarrassante de brûler ce qu'il avait adoré, et ne pouvant ignorer l'existence des galets, il leur chercha une nouvelle explication cadrant avec l'idée autochtone. Deux hypothèses lui semblent réaliser son desideratum : il y a d'abord la rivière tranquille du marais houiller, que jamais personne n'a vue, car il est bien curieux que, dans le *wash-out*, ce qui ressemble le plus au lit d'une rivière, il n'y ait jamais de galets exotiques comme ceux trouvés dans la houille, mais uniquement des matériaux locaux (roches, charbons, sphérosidérites). La seconde hypothèse est encore plus originale. Il se demande si les galets n'ont pas été projetés de la mer dans le marais houiller, comme il l'a vu, à Heligoland, lors d'une tempête. Est-ce que G. Schmitz a réellement pu croire que des galets de 18 kgs ont été lancés par la mer ou les vents, du bord de la cuvette houillère, à des kilomètres dans l'intérieur? Si oui, le cas est, comme je le disais, bien curieux (**125**, p. 31) [1].

Mais dans l'hypothèse du transport par des arbres flottants, les galets prouvent encore autre chose, c'est qu'il y avait des arbres flottants, chose dont les partisans de l'autochtonie doutent

[1] A la décharge du R. P. G. Schmitz, on peut dire que certaines explications invraisemblables qu'il a émises ne sont que la reproduction, presque textuelle, avec photos à l'appui, d'opinions émises par H. Potonié; cf. (**103**).

et que nous aurons à examiner dans le chapitre où nous parlerons des troncs-debout. Mais ce n'est pas tout ce que nous apprennent ces précieux galets.

L'identité réellement frappante des galets de quartzites du Houiller inférieur venant des États-Unis, du Lancashire et du bassin franco-belge, rappelée ci-dessus, suggère, comme je l'ai dit, une origine commune et très lointaine donc. C'est un point sur lequel, pour d'autres cailloux, les auteurs sont d'accord. Une partie du trajet parcouru par ces galets l'a été, sans nul doute, dans des courants torrentiels continentaux où ils ont acquis leur forme caractéristique et où s'est produite l'élimination des matériaux moins tenaces que le quartzite. Il y avait donc déjà alors des reliefs montagneux, au sol formé par du Houiller inférieur déjà solidifié, métamorphosé et soulevé, dans l'assise qui suit celle d'Andenne et où ces quartzites sont surtout abondants. Il y avait aussi des forêts qui croissaient sur ces continents, dans les lits des torrents ou sur leur cône de déjections. On a déjà signalé le fait que des galets ont été trouvés, parfois, dans la même verticale, dans des veines successives. J'ai signalé un cas bien curieux de ce genre (**151**). On a retrouvé, pas bien loin l'un de l'autre, des galets de tuffoïde volcanique cambrienne, en Belgique, à des niveaux séparés par près de 2,000 mètres de couches. Cela supposerait une rare persistance dans les cours d'eau et les courants marins.

§ 2. — *Cendres des veines de charbon.*

Tous les charbons contiennent des matières minérales incombustibles, que l'on retrouve, sous forme de cendres, après la combustion. D'où proviennent ces matières étrangères? Sont-ce seulement les matières minérales que contenaient les végétaux au détriment desquels le charbon a été formé? Proviennent-elles d'un apport de matières sédimentaires, ou proviennent-elles de ces deux sources réunies? Ce sont là des questions qui ont un rapport direct avec le mode de formation des veines de charbon et ce mode de formation peut être éclairé par les réponses que l'on peut faire aux questions ci-dessus, posées déjà depuis longtemps. Beaucoup d'auteurs étaient dans l'idée que la houille ne renferme guère de cendres, et partant de cette idée, ils admettaient que par voie de transport la houille ne saurait être aussi pure. Comme d'habitude, tout cela était affirmé, sans aucune espèce de preuve ni même de discussion. C'était l'époque où l'on croyait que la tourbe était pauvre en matières minérales

et cette pureté du charbon était volontiers invoquée, par comparaison avec celle de la tourbe, comme indiquant une identité du mode de formation. Ces notions un peu vagues ont trouvé une expression concrète et précise sous la plume d'A. Briart, quand il a dit : « Il semble aussi que la grande pureté chimique de la houille soit une objection... à la formation par voie de transport. N'oublions pas que la houille des bassins marins est généralement plus pauvre en matières terreuses que la plupart des végétaux actuels. » (**24**, p. 829.) Briart était un éminent géologue et, de plus, directeur des travaux d'un des plus importants charbonnages belges; il semblait bien qualifié pour parler de la sorte. Néanmoins, ne voulant pas me contenter d'affirmations, j'ai étudié la question par les faits. J'ai réuni des milliers d'analyses de charbons et de matières végétales actuelles et je les ai publiées en résumé avec mes conclusions (**148**, p. 79). Ces conclusions sont tout à fait différentes de celles de Briart. Les chiffres montrent que les veines de charbon sont beaucoup plus cendreuses que les parties des végétaux les plus riches en cendres. J'ai aussi montré que ce résultat était à prévoir à priori, car on se demande comment les végétaux auraient perdu les matières minérales qu'ils renfermaient, en se changeant en houille. Rien que le départ des gaz, consécutif à la houillification, devrait amener, pour la plupart des variétés de charbon, un enrichissement en cendres du double. On aurait pu croire la question résolue et l'on aurait dû cesser d'invoquer la pureté des charbons comme preuve de la formation sur place. Mais, nous en avons déjà cité plus d'un exemple, les faits les plus opposés sont des preuves du bien-fondé de ce mode de formation. C'est J. Cornet qui nous l'affirme en disant (**32**, p. 50 du tiré à part), dans le même paragraphe, que la pureté de beaucoup de couches est un argument puissant en faveur de l'autochtonie. Néanmoins, dit-il, un grand nombre de charbons présentent une proportion de cendres telle qu'on doit admettre qu'il y entre une proportion plus ou moins grande de matières étrangères, dont la présence s'explique aisément dans l'autochtonie. Il ajoute encore que l'existence de charbons dépourvus de ces matières étrangères, apportées par l'eau et par le vent, est incompatible avec la théorie du transport. On chercherait vainement la démonstration de cette dernière affirmation dans son travail et même une discussion à ce sujet. Nous allons y suppléer et discuter les arguments qu'il invoque en faveur des deux autres affirmations contraires. Parlons d'abord de la prétendue incompatibilité entre la pureté de certains charbons et la théorie allochtone.

Cornet explique cette pureté en admettant qu'une partie des matières minérales contenues dans les végétaux houillers aurait été dissoute par les eaux acides des tourbières. Pour que cette dissolution soit efficace, il faut évidemment que les eaux puissent s'écouler. Aussi Cornet admet que l'eau des tourbières n'est pas parfaitement stagnante (p. 53). Si le phénomène invoqué par Cornet est réel, on se demande bien pourquoi il n'aurait pas agi, et avec infiniment plus d'effet, dans la formation par transport. On appréciera, en effet, la logique, au point de vue chimique du raisonnement de Cornet : une dissolution aurait pu se faire par des courants d'eau presque stagnante, agissant sur des végétaux entassés au fond d'un marais et cette dissolution n'aurait pu se faire quand les mêmes végétaux, entraînés au loin par des courants d'eau violents, brisés, déchiquetés, flottent, puis se précipitent, toujours au sein de l'eau. Ce serait absurde. Mais, il n'est pas inutile de le dire, le travail de M. Cornet est antérieur aux travaux de M. Duparque et il ne pouvait donc tenir compte du changement radical que ces recherches ont imprimé à nos concepts sur la houillification. On sait maintenant qu'une couche de charbon n'est pas un amas de matière appauvrie par des dissolutions, mais, au contraire, c'est un dépôt enrichi par des apports continuels d'une gelée colloïdale qui, formée par voie de précipitation chimique, au détriment de solutions, doit nécessairement être très pure. C'est la proportion plus ou moins grande de ces apports qui règle la pureté en cendres de la veine. C'est ce que démontrent les analyses que l'on pratique sur les couches lorsqu'on prend la peine de les étudier, non pas en bloc, mais lit par lit, variété de lits par variété. On voit alors les grandes différences dans le pourcentage en cendres des diverses variétés de charbon dont se compose une veine, variétés dont la composition physique macroscopique pouvait déjà faire prévoir l'existence, puisque les veines complexes peuvent présenter des lits presque uniquement minéraux, et dans les lits de charbon, des variétés très différentes comme composition chimique. Mais, depuis les résultats acquis par l'étude micrographique de la houille, les théories anciennes sur la houillification n'ont plus qu'un intérêt historique. Il n'en est pas de même de la présence dans la houille de substances minérales étrangères aux végétaux. C'est bien facile de dire maintenant que leur présence s'explique aisément dans la formation sur place, alors que pendant tant d'années les autochtonistes ont affirmé le contraire et ont cherché à expliquer autrement la prétendue pureté de la houille. On croyait alors en trouver la raison dans le fait que les

matières minérales sédimentaires ne pouvaient pénétrer dans le marais houiller, étant retenues à la périphérie de ce marais par un barrage de végétation touffue, et l'on citait les exemples de l'effet clarifiant de barrages de ce genre, visibles dans la Nature actuelle. Actuellement Cornet fait état (p. 53) des teneurs élevées qu'il y a, en cendres, dans la plupart des tourbes, combustibles dont la nature autochtone est absolument hors de doute, dit-il. Tout cela est, encore une fois, purement de l'affirmation. Le caractère autochtone de la houille est aussi, pour Cornet, hors de doute. C'est par une série perpétuelle d'affirmations de ce genre que l'on entretient dans la Science les mauvaises théories. A moins d'admettre que les analyses anciennes de tourbes pauvres en cendres étaient fausses, il y a lieu de croire qu'il y a, dans les tourbes comme dans les houilles, une grande variété à cet égard. Au lieu de se contenter de constater cette variété, on ferait bien mieux d'essayer d'en trouver la raison. Il y a encore énormément à apprendre sur les tourbes modernes. Chaque cas en particulier doit être étudié et à fond. Potonié lui-même a pris la peine de faire remarquer que dans la Nature actuelle, parmi les nombreuses variétés de tourbières existantes et dont nous avons plus haut donné les principales, ce sont les tourbières du type *swamp* qui ressemblent le plus au marais houiller. A quel type de tourbières appartiennent les tourbes riches en cendres dont Cornet fait état? Sur quoi s'est-il basé pour affirmer leur autochtonie? Par quel mécanisme s'est produit l'apport de matières étrangères minérales?

Dans son travail, Cornet a fait état des analyses de charbon que j'ai citées dans mon travail (**148**) pour dire que malgré tout il y a des couches de charbon nombreuses, moins cendreuses que les tourbes. Cette affirmation m'oblige à reprendre la plume sur ce sujet. Quand j'en ai parlé la première fois (**148**), je n'avais à combattre que l'affirmation de Briart. Je me suis alors contenté de traiter ce que j'appellerai le côté scientifique du problème des cendres de la houille. Mais, on le sait, malheureusement, la question a aussi un côté pratique et commercial qu'il ne faut pas négliger si l'on veut avoir un tableau complet de la situation.

Tous ceux qui ont jeté un coup d'œil sur le cendrier de leur appareil de chauffage domestique savent, hélas! à quoi rime la pureté tant vantée de la houille, pureté dont font foi certaines analyses. On devine comment ont été prélevés les échantillons qui ont fourni ces analyses à cendres si rares. Ce sont des échantillons de choix, prélevés dans des lits très purs d'une veine

impure ou même dans certaines veines localement très pures. Parmi les analyses de charbons très purs, la plupart anciennes, chez nous comme ailleurs, il y en a de charbons belges. Je vais citer ici une documentation inédite que je possède et qui va nous donner une note plus exacte de la composition des charbons. En 1887, lors d'une longue et intense crise charbonnière, le Gouvernement créa une Commission d'exportation des charbons. Celle-ci voulant savoir si la mévente était due à la mauvaise qualité des combustibles, fit prélever, à l'insu des exploitants, sur des charbons en wagons, en gare, des échantillons provenant de 92 charbonnages. Ils furent analysés par le même ingénieur. Le tableau suivant résume les principales données au point de vue des cendres. Teneur la plus basse : 5 %. La plus haute : 26,90 %.

Charbons de	5 à 6 %	2
»	6 à 7 »	1
»	7 à 8 »	3
»	8 à 9 »	2
»	9 à 10 »	9
»	10 à 12 »	19
»	12 à 15 »	43
»	15 à 17 »	7
»	17 à 20 »	5
»	26,90 »	1
		92

Charbons à moins de 10 % de cendres : 18,48 % du total; charbons à plus de 10 % : 81,52 %.

En comparant ces chiffres avec ceux que j'ai donnés (**148**, p. 86), on voit tout de suite l'énorme différence que met en relief le chiffre comparé du pourcentage des charbons à plus de 10 % de cendres : 15,25 %, et ici 81,52 %. Et ce n'est encore là qu'un des côtés de la question. Les charbons en question, comme d'ailleurs tous ceux dont on donne les analyses, sont des charbons marchands, c'est-à-dire que l'on exploite parce qu'ils sont vendables. Mais combien n'y a-t-il pas, dans les charbonnages, à côté de ceux qu'on exploite, de charbons qu'on n'exploite pas parce que leur teneur en cendres est trop forte et dont on ne parle jamais. Tantôt ce sont des veines tout entières qui sont dans ce cas et qui présentent des teneurs parfois énormes : 50 % de cendres et au delà. Plus souvent c'est un lit ou plusieurs lits d'une veine complexe qu'on est obligé de mettre aux remblais ou de laisser au toit ou au mur de la veine. Si l'on veut avoir

la preuve de ce que je dis ici, on n'a qu'à consulter les innombrables compositions physiques de couches données dans les publications des nombreux services géologiques des États-Unis, où sont décrits les bassins de ce vaste pays.

Les récents bulletins du Service géologique des États-Unis, où sont décrites les diverses parties du bassin appalachien, sont surtout instructifs à cet égard. A chaque page on y parle de tel ou tel lit (*bench*) d'une veine qui est laissé dans la mine parce qu'il est trop sale ou trop dur. Comme les lavoirs ne sont pas encore utilisés dans ce bassin, ces qualités inférieures de charbon ne seraient pas vendables, et on laisse ainsi à tout jamais perdues, dans les mines, des millions de tonnes de charbon. I. C. White a montré que rien que dans la célèbre couche « Pittsburg coal » on laisse dans la mine 2,000 tonnes par acre au toit de la couche et 1,000 tonnes au mur, parce que ces lits sont trop interstratifiés de lits de schiste (**173**).

Mais à côté des veines, il y a des veinettes dont la plupart ne sont formées que de schiste charbonneux. Cependant, toutes ces veines ou veinettes, où la proportion de matières minérales dépasse celle des matières combustibles, sont, à tous autres égards, identiques aux veines de charbon pur. Toutes ont un toit et un mur à *Stigmaria* et personne ne pourrait leur attribuer une origine différente.

Il faut donc renoncer à voir dans la présence de cendres dans le charbon un argument en faveur de l'autochtonie, car si la présence de matières minérales est aisée à expliquer dans la formation sur place, elle est encore infiniment plus admissible dans un dépôt formé par sédimentation après transport, car ce sont les mêmes matières minérales, sable et argile, qui forment les 9/10 du terrain houiller, les stampes stériles, que tout le monde considère comme formées de cette façon. Au point de vue de la présence de matières minérales terreuses il y a toutes les transitions possibles entre les veines au charbon le plus pur et les bancs de stampe stérile, ce qui établit leur communauté d'origine.

CHAPITRE VI.

Les troncs-debout du Houiller.

Parmi toutes les particularités si variées que présente le terrain houiller, il en est peu qui aient frappé l'imagination comme la présence de troncs d'arbres debout. Il est très impressionnant de se trouver en présence d'un de ces vénérables débris, majes-

tueusement dressé, comme s'il était encore en vie. Rien que ce fait d'être dressé, alors que tous les êtres vivants, une fois morts, s'affaissent lamentablement, a suffi pour donner l'idée qu'ils étaient restés à l'endroit même où ils avaient vécu. On ne s'est pas demandé s'il n'y avait pas d'autre explication à donner à cette position et l'on n'a pas cherché à élucider un problème qui ne se posait même pas, semble-t-il. Chose curieuse, des botanistes éminents, qui par principe devaient être familiarisés avec les conditions que doit présenter un arbre pour pouvoir être dit « en place », des botanistes, dis-je, se sont contentés d'un examen des plus sommaires et ont accepté la théorie facile de la position en place. On sait pourtant que dans les contrées très civilisées on ne voit pas d'arbres flottants dans les cours d'eau, — ils ont trop de valeur pour cela — mais que, dans les régions peu civilisées, les troncs d'arbres flottants peuvent être nombreux et peuvent, en coulant à fond, prendre la position verticale. Il peut donc y avoir deux espèces de troncs-debout : ceux qui sont en place et ceux qui ont été arrachés de leur lieu natal, transportés, puis sédimentés verticalement, au milieu des sédiments, comme le furent aussi les troncs en place.

Pour ceux qui en douteraient, nous montrerons plus loin que des troncs flottés peuvent se sédimenter verticalement et que, partant, ce caractère de verticalité ne peut, à lui seul, trancher la question de savoir auquel des deux cas on a affaire. Il y a toute une série de caractères au moyen desquels ont peut dire qu'on est en face d'un tronc en place. Ces caractères sont si importants que tous, sans une seule exception, sont indispensables à la vie d'un arbre et que, partant, si un seul de ces caractères fait défaut on peut affirmer que l'arbre ne vivait pas là où on le trouve, sans ce caractère, mais qu'il croissait ailleurs, pourvu de ce caractère. Dans ce cas c'est un tronc transporté. Un arbre en place se distingue donc par un ensemble de caractères positifs, un arbre transporté, par l'absence de ces caractères positifs. Ceci dit, voici quels sont ces caractères positifs. Un arbre en place doit : 1° être vertical par rapport aux couches sédimentaires où il est intercalé; 2° ce qui reste du tronc doit être pourvu d'une souche en rapport avec l'importance de l'arbre, importance dont on ne peut jamais juger que par le diamètre de ce tronc; 3° la souche doit être pourvue d'un système de maîtresses-racines qui, dans les spécimens complets, sont au nombre de quatre ou de huit; 4° par une série de bifurcations, ces maîtresses-racines doivent donner naissance à des racines ordinaires ou *Stigmaria*, de plus en plus petites comme diamètre. Aucune

de ces racines, quelle que soit son importance, ne doit se terminer par une section nette ou par une surface d'arrachement, mais doit finir en pointe ou en bout arrondi; 5° chacun de ces *Stigmaria* doit être garni d'appendices radiculaires, ou radicelles, partant de toutes les cicatrices d'insertion qu'ils portent. Cette règle n'est impérieuse que pour les racines terminales. En se rapprochant de la souche les racines et surtout les maîtresses-racines perdent naturellement leur rôle nutritif, pour ne plus servir que d'agent de liaison et de soutien, et se dépouillent de leurs radicelles.

Avant d'entamer la question des observations, il nous reste encore à faire quelques remarques préalables.

On n'a jamais signalé aucun phénomène par lequel les diverses parties souterraines d'un arbre, que je viens d'énumérer, pourraient avoir été enlevées à l'arbre, dans un sol de végétation non remanié, sauf la putréfaction. D'innombrables faits nous prouvent que les parties souterraines d'un arbre ne sont pas plus putrescibles que le tronc. Cela est vrai même des organes les plus délicats, comme les radicelles, puisqu'elles remplissent les murs de leurs débris. Donc, quand un tronc-debout a été conservé et qu'il est dépourvu des organes souterrains susdits, on ne peut se contenter, pour expliquer leur absence, d'invoquer leur décomposition. Il faut justifier cette décomposition. Si un tronc se trouvait dans du schiste et ses parties souterraines dans du grès très pur, on comprendrait que l'appareil souterrain se décompose plus ou moins, le grès étant probablement, par sa perméabilité, plus propice à une décomposition rapide. Mais ce cas est rarissime. C'est le contraire qui se réalise. La souche est dans une roche argileuse et le tronc dans une roche siliceuse, et c'est ce qui explique que, par décomposition, ravinement ou autre cause, le tronc soit réduit à si peu de chose.

Il me reste à prouver maintenant que des troncs flottants peuvent se sédimenter en coulant à fond verticalement. La démonstration de ce fait a déjà été faite plusieurs fois, et je pourrais donc me dispenser d'en parler. J'ai déjà moi-même exposé mes idées sur ce sujet dans des lignes précédentes (p. 72). Le phénomène est d'ailleurs si bien visible dans la Nature actuelle, qu'il serait difficilement niable. Un géologue l'a cependant contesté, en disant que les troncs verticaux ne pouvaient être transportés, puisque durant leur flottaison ils voyagent inclinés. Cette objection repose sur une confusion évidente. Les troncs flottants, les *snags* comme on les appelle partout, ne

flottent inclinés que tant qu'ils sont dans les cours d'eau, et la raison en saute aux yeux. Dans un cours d'eau, l'eau de surface coule plus vite que l'eau du fond, retardée par le frottement contre les parois. Mais les troncs-debout du Houiller n'ont pas été sédimentés dans un fleuve, mais bien dans un bassin, et j'ajoute un grand bassin du type marin, dans lequel le flotteur peut ballotter en tous sens, mais doit, en vertu de la pesanteur, couler à fond verticalement, car rien ne lui permet de faire autrement dans le cas où son centre de gravité est plus bas que son centre de figure. Tous ne réalisent pas cette condition et c'est pour cela qu'à côté de troncs verticaux il y en a souvent d'autres obliques ou couchés.

Je rappelle encore que mon travail, se basant sur l'étude des grands bassins paraliques, mes conclusions ne se rapportent qu'à ce genre de bassin. Je suis loin de nier que, dans les bassins limniques surtout, il puisse y avoir des arbres en place. Ceci dit, voici les observations que me suggèrent l'étude que j'ai faite de certains cas et la lecture des nombreux travaux publiés sur la matière

1re Observation.

Il est bon de rappeler qu'à côté des troncs étudiés et décrits, surtout parce qu'ils sont plus frappants et paraissent plus parfaits, il en existe une quantité considérable d'autres que jamais personne n'étudie et dont on ne parle guère qu'à l'occasion des morts d'homme que leur présence entraîne. Les cloches, comme on les appelle chez nous, à cause de leur forme de cône tronqué s'ouvrant vers le bas, sont bien connues et redoutées des mineurs. Tantôt on les rencontre isolées, tantôt en nombre considérable, presque toujours au toit d'une couche qui est connue pour être riche en cloches. Les causes de leur chute, les dangers de cette chute et les moyens de les prévenir n'ont rien à voir ici; qu'il me suffise de dire qu'après leur chute on reconnaît souvent, à la mince pellicule ou croûte de charbon qui revêt les côtés du cône, qu'il s'agit d'un tronc-debout. Les spécimens parfois meurtriers qu'on m'a montrés, les renseignements que m'ont donnés les ingénieurs du fond, que leur mission met en contact fréquent avec ces cloches, m'ont appris qu'il est rarissime d'y voir autre chose que ce que je viens de signaler. D'un diamètre parfois considérable, leur longueur réelle est inconnue, car le morceau qui tombe n'est généralement qu'une fraction. Personne ne s'intéresse au reste, d'ailleurs peu instructif. La base large du cône, tantôt s'applique directement sur la veine,

tantôt elle en est séparée par un lit plus ou moins épais de toit ou de faux-toit. Ces dernières cloches sont les plus dangereuses, car rien ne permet de déceler leur présence. Ces cloches, dépourvues de toute trace de leur appareil souterrain, ne sont, pour tout esprit non prévenu, que des restes informes. Je renonce à convaincre ceux qui considéreraient de pareils débris comme des troncs en place. Grâce à l'obligeance du personnel du charbonnage de la Batterie, à Liége, j'ai pu étudier un cas où l'on pouvait bien voir tout un ensemble de ces cloches, beaucoup mieux conservées là que d'habitude, énormes parfois et déterminables (*Sigillaria*) (**153**, fig. 1, 2, 3, p. 36).

Tous ces troncs étaient séparés de la veine par un banc de $0^{m}20$ de faux-toit schisteux avec lits brillants de charbon et empreintes de Sigillaires, où l'on ne voyait nulle part la moindre trace des racines et radicelles nombreuses qu'auraient dû posséder des arbres de ce diamètre. La nature de ce faux-toit ne permettait pas d'admettre que les racines se seraient décomposés et auraient disparu, puisqu'il était capable de conserver des empreintes de la même plante. Le nombre de ces restes et l'absence de toute trace de glissement ne permettaient pas d'admettre que des glissements, auquels les autochtonistes font si volontiers appel, en pareil cas, auraient partout enlevé toutes les racines de ces troncs.

2e Observation.

Même en admettant que les troncs-debout au toit des veines sont en place, on ne pourrait utiliser ce fait pour prouver l'autochtonie de la couche sousjacente. On l'a déjà fait remarquer, dans toutes les théories on admet que la couche est complètement formée quand se dépose le toit. Même mieux, on admet que ce sont les conditions qui ont amené la formation du toit qui ont provoqué la mort de la végétation en place. Il y a donc là contradiction évidente. Des conditions (profondeur d'eau, afflux de sédiments terreux, etc.) capables de tuer toute une forêt auraient été capables de laisser vivre des troncs des mêmes espèces que celles de la forêt.

De toutes façons d'ailleurs ces troncs ne prouvent rien pour la couche, car même en place, quand ils sont séparés de la couche, comme au charbonnage de la Batterie, par un banc pierreux, leurs racines elles-mêmes n'ont pas pu contribuer à former une partie de la couche et le cas de ces séparations est fréquent, car de nombreux troncs sont en pleine stampe stérile. Pour que ces troncs puissent servir à former la couche, il faudrait qu'ils

fussent enracinés dans les murs. Il y en a, et nous en parlerons plus loin, mais ils sont infiniment moins nombreux, ce qui est illogique, dans la théorie de la formation sur place, d'après laquelle le mur devrait contenir autant de souches qu'il y avait d'arbres dans la forêt, au moment de sa mort.

3e Observation.

Il n'est pas très rare de rencontrer, dans le toit ou dans les stampes, des troncs-debout, mais plus ou moins inclinés. Le R. P. G. Schmitz en a signalé (**122**, p. 23). Nous en avons décrit quelques-uns (**153**, fig. 13, 14, 21) (**137**, pl. IV). Parmi ces troncs il y en a au toit et au mur. Un rien suffit pour déranger l'équilibre d'un tronc flottant et pour le faire incliner. Il est donc facile, par transport, d'expliquer le défaut de verticalité. Il n'en est pas de même dans la formation sur place. Un arbre en place est toujours vertical. S'il n'est pas perpendiculaire au sol, c'est que celui-ci est incliné. Mais le parallélisme, parfait souvent, du toit et du mur d'une veine indique nettement, comme nous l'avons démontré (pp. 141 et suiv.), une formation au sein de l'eau, donc à surface horizontale. L'hypothèse (**122**) de l'inclinaison du mur à 13° proposée pour expliquer un angle de cette valeur entre une couche et le tronc contenu dans son mur n'est donc pas admissible. Sorby (**128**) ayant constaté un fait, visible assez fréquemment, que les racines d'un tronc-debout sont plus horizontales d'un côté de l'arbre que de l'autre, a attribué le fait à l'existence de vents dominants, ce qui paraît assez vraisemblable. Mais le tout est de savoir où s'est fait sentir cette influence. Dans un des gisements du charbonnage de la Batterie que j'ai décrits (**153**, p. 37), les flancs les plus raides de divers troncs, conséquence de la position des racines, n'étaient pas tous tournés du même côté. Si l'observation de Sorby est fondée c'est la preuve que ces troncs ne sont pas en place.

4e Observation.

Il y a un fait qui est frappant, c'est qu'il y a des troncs pourvus d'un appareil souterrain très complet et d'autres, bien plus nombreux, qui ne présentent que peu ou pas de maîtresses-racines. De plus, les figures que l'on a publiées de ces troncs mieux conservés montrent que leurs racines sont étalées presque horizontalement, tandis que chez les autres, la position des cicatrices indique que les maîtresses-racines s'y développaient plus ou moins dans le sens de la verticale. De plus, les racines secondaires, lorsqu'elles descendent verticalement sont aussi très

rares ou coupées très près de leur naissance. Ce sont là des faits qui ne trouvent aucune explication logique si l'on suppose les troncs en place, mais qui se comprennent aisément dans le transport. L'explication est la même que celle que nous avons donnée pour expliquer l'abondance relative des radicelles adhérentes à un *Stigmaria* quand elles sont horizontales (cf. p. 73).

Dans leur lieu natal, par suite de conditions particulières, par exemple le peu d'épaisseur du sol végétal, des arbres sont obligés d'étendre leurs maîtresses-racines horizontalement. Ces racines n'ont donc pas beaucoup d'attache au sol, et quand la tempête les emporte, les racines suivent facilement le tronc, car elles sont mises à nu et déchaussées par les eaux. Il en est tout autrement des racines qui s'enfoncent verticalement et qui, solidement ancrées dans le sol par le frottement, sont violemment séparées de leur souche lorsque celle-ci cède à l'érosion.

Pour confirmer ce que je viens de dire, il suffit de voir les publications sur le sujet. La souche la plus complète qu'on ait trouvée est celle décrite par Adamson (**3**). Elle possède encore ses racines, bifurquées, dont certaines ont jusque 16 pieds de long. Toutes ces racines s'étalent horizontalement. Les troncs décrits par Sorby (**128**) avec huit racines principales sont moins longues et moins horizontales. Une très belle souche à racines bien étalées est celle décrite par Potonié (**102**), venant du Piesberg. Par contre, dans les souches de la Batterie (**153**, p. 36), la position des cicatrices directement sous le tronc indique des racines s'enfonçant verticalement. Il en est de même des petits moignons de racines visibles sur la plupart des cloches ou troncs rudimentaires.

5e Observation.

La preuve évidente que la plupart des troncs signalés debout ne sont pas en place, c'est que les figures qu'on en donne montrent nettement les racines coupées, comme au couteau même. C'est là une circonstance pour le moins extraordinaire et complètement inexplicable dans l'idée que les troncs ainsi sectionnés seraient en place. Aucune cause capable de produire, *in situ*, ce sectionnement, n'a jamais été invoquée ni citée et les auteurs qui les ont vues sont cependant partisans de la croissance sur place de ces troncs. Pourtant, dans l'hypothèse de la formation par transport, l'explication de ce fait est si simple qu'elle a dû venir à l'esprit de tout le monde. Si les troncs-debout ont été arrachés violemment de leur sol natal, dans le plus grand nombre de cas, quand les arbres étaient enracinés dans des sols

compacts et tenaces, tout ou partie de la souche et de ses appendices, racines et radicelles, a dû rester en place, en laissant des cicatrices de sectionnement. Plus les sols étaient légers, meubles et peu épais, et plus la souche devait être complète, ne laissant parfois dans le sol que les petites extrémités des racines et des radicelles.

Personne n'a eu les facilités d'étudier les troncs-debout du Houiller, que la merveilleuse coupe des South-Joggins a fournies à J. W. Dawson. Cela nous a valu de précieuses données de tout genre, mais l'auteur les a bien mal interprétées, aveuglé qu'il était par une foi inébranlable dans l'autotochnie de tout ce qu'il observait, et pour lesquelles il prodigue l'expression « évidemment en place », comme si une affirmation cent fois répétée pouvait remplacer un argument qui fait défaut, ou combien faible.

Nous en avons vu un cas typique lorsqu'il essaie de répondre à l'objection que quelqu'un lui a faite en demandant pourquoi si peu de troncs-debout de la coupe des Joggins ont des racines, tandis qu'il y a tant de sols de végétation (murs), alors qu'on croirait que les troncs sont beaucoup plus périssables que leurs racines (**34**, p. 30.) Pour expliquer cela, Dawson n'a trouvé que les deux misérables remarques suivantes : 1° les murs sont d'habitude plus délitables que les grès et psammites où l'on trouve les troncs. Il se fait donc que ces murs sont souvent enlevés avant que l'on ne découvre les troncs. Cette remarque ne peut évidemment s'appliquer qu'à des affleurements. Avant de l'émettre, Dawson aurait bien fait de voir si, dans les roches inaltérées, dans les travaux souterrains, on observait des racines attachées aux troncs, et il aurait vu que non, ce qui rend sa remarque sans portée; 2° les racines se rapprochant de l'horizontale ont été souvent comprimées ou transformées en charbon, alors que les troncs et les radicelles verticales ont été préservés. Cette remarque n'a pas plus de valeur que l'autre. Une racine, même comprimée ou houillifiée ne disparaît pas; la preuve en est dans les innombrables troncs couchés, toujours aplatis, mais parfaitement visibles cependant. Or les troncs-debout ne montrent, pour la plupart, ni racines aplaties, ni racines en charbon. Quant aux racines verticales, il n'en parle pas. Elles devraient exister cependant pour expliquer la présence de radicelles à des mètres sous les couches; au lieu de cela, elles sont rarissimes.

6e Observation.

Dans les nombreux travaux qu'il a publiés sur la coupe des Joggins, notamment (**34**, **36**, **37**), il décrit, dans les moindres détails, les événements qui se sont produits lors de la formation de chaque veine ou passée, surtout de celles qui montrent des troncs-debout dans leur toit, parmi lesquels figurent les troncs célèbres qui lui ont fourni des restes si précieux de batraciens, de gastéropodes pulmonés, etc. Ces descriptions, très littéraires, n'ont qu'un seul tort, c'est de ne pas être vérifiées par les faits que lui-même cite. Comme son cas est celui de beaucoup d'auteurs qui ont parlé de ces troncs, nous allons en prendre un exemple typique. A propos de la veinette de 0 m. 15 dont le toit renferme les troncs-debout creux avec ces rarissimes fossiles, il donne comme suit la succession d'événements qui ont produit cette veinette et le gisement de troncs (**37**, p. 624) : 1° le mur représente un sol limoneux sur lequel ont prospéré longtemps des sigillaires qui l'ont rempli de leurs racines; 2° le résultat a été la formation d'une veinette de 0 m. 15, composée des débris de ces plantes et d'autres; 3° puis la région, ou bien s'est enfoncée, ou bien a été inondée d'eau probablement saumâtre, dans laquelle s'installèrent des entomostracés et des naïadites, alors que très peu de sédiments se déposaient, rendus charbonneux par des plantes flottées provenant du marais lui-même ou d'ailleurs. Entretemps, les plus gros et les plus solides troncs de sigillaires restaient debout et voyaient leur bas s'entourer de sédiments argileux avec plantes flottées. On croirait, d'après cette histoire, que les troncs sont des restes de la forêt qui a donné naissance à la veinette. Or les coupes qu'il donne de ces troncs, comme aussi toutes les coupes, *sans aucune exception*, publiées de troncs-debout, montrent que c'est une opinion insoutenable. Pour qu'elle soit vraie, pour qu'on puisse considérer les troncs du toit comme des restes de la forêt qui aurait produit la veinette, il faudrait que ce tronc du toit fût enraciné dans le mur comme les arbres de la forêt. Or, la coupe de plusieurs troncs-debout qu'il figure, de ce niveau, montre qu'il n'en est rien. Aucun des troncs ne traverse la veinette pour passer dans le mur. Tous s'étalent à la surface de la veinette. Ils représentent donc un événement postérieur au dépôt de cette veinette. Tous les auteurs, même des partisans de l'autochtonie, ont reconnu ce fait que les troncs-debout, même ceux qui ont des racines, ne traversent pas les couches de charbon, mais s'étalent à leur surface, sans y pénétrer. Ils en sont indépendants. Mais

on objectera que si l'on ne voit pas les troncs ou leurs racines pénétrer dans le charbon, c'est parce que, dans ce charbon, le tronc s'est houillifié et est ainsi devenu invisible. Admettons, pour un moment, cette hypothèse; admettons même que, dans une veine très épaisse, les troncs-debout auraient pu avoir place pour développer une souche capable de les faire vivre; il n'en serait plus de même pour des troncs reposant sur de minces veinettes incapables de loger pareilles souches. Dans ce cas, la houillification n'aurait pu atteindre qu'une zone mince du tronc, prolongement de la puissance de la veinette. Au-dessous, dans le mur, on devrait retrouver, non modifié, le reste de la souche, car ce mur renferme des racines et des radicelles. Or, jamais une seule fois on n'a figuré une souche d'un mur correspondant à un tronc-debout d'un toit. Voyez, à cet égard, la figure 8, p. 29 (**34**) que donne Dawson d'un tronc de plus d'un mètre de diamètre reposant sur une veinette de 0 m. 025, en s'y étalant fortement, sans le moindre moignon de racines. Sous le charbon, dans le mur, il n'y a pas trace de souche ni de racines. Et, je le répète, cette coupe est, dans les grandes lignes, celle de tous les troncs-debout.

7e Observation.

Les troncs susdits, où Dawson a fait de si belles trouvailles, sont, au point de vue botanique, parmi les plus misérables. Ils sont littéralement réduits à une ombre de tronc (**37**, fig. 1, 2, 5). Parmi eux il s'en trouve un qui est unique, en ce sens que le tronc se trouve dans une stampe stérile, entouré de schiste et de grès, alors que ses racines sont dans un mur. Il y a donc là une passée, bien rudimentaire, il est vrai, car il n'y a rien à la limite. Ce tronc, réduit à un simple cylindre très mince, montre quelques racines qui, quoique s'enfonçant verticalement, sont, contrairement à ce que disait Dawson, réduites à un simple filet de charbon. Ce tronc ressemble complètement à celui que j'ai décrit (**153**, fig. 6 à 9). Celui-ci était en pleine stampe stérile, sans traces de radicelles. Tous deux sont d'informes restes qui, pour être réduits à l'état où ils ont été trouvés, ont dû flotter longtemps, se décomposer et ne plus garder qu'une pellicule d'écorce du tronc et des grosses racines.

8e Observation.

H. Potonié a fréquemment utilisé, comme preuve de l'autochtonie des troncs-debout, les troncs qu'il a observés et décrits dans le gisement de lignite miocène de Senftenberg (Silésie)

(**106**). Mais, comme l'a déjà fait remarquer le R. P. G. Schmitz, l'exemple ne prouve rien, vu la différence capitale, visible sur les coupes et photographies, entre les troncs miocènes et ceux du Houiller (**123**, p. 37). En effet, les troncs de Senftenberg, enracinés dans le mur de la couche de lignite, s'étendent jusque dans celle-ci, fait qu'on n'a jamais vu dans le Houiller. Bien plus, l'exemple cité par Potonié prouve une chose connue dans quantité de tourbières, c'est que les troncs d'arbres contenus dans le lignite et dans la tourbe y conservent leur individualité et ne se fondent pas dans la tourbe environnante. C'est donc à tort que beaucoup d'auteurs auraient expliqué pourquoi les troncs du toit et du mur ne se poursuivent pas dans la veine, en admettant que, dans celle-ci, les troncs se tranformeraient en charbon et deviendraient invisibles. Le cas de Senftenberg prouve le contraire et sape donc un des arguments des autochtonistes.

9e Observation.

Comme nous l'avons fait remarquer en parlant des cailloux roulés trouvés au beau milieu des couches de charbon, la seule explication plausible de leur présence consiste dans l'hypothèse du transport dans les racines de troncs d'arbres flottés. Il faut donc, de toute nécessité, que des arbres aient flotté au-dessus de toutes les couches où l'on a trouvé de ces cailloux.

De plus, les troncs qui flottaient, lestés vers le bas par les volumineux cailloux que l'on sait, devaient flotter verticalement. Pour expliquer la présence de cailloux pesant de 100 à 800 kg., il faut faire intervenir des arbres de grande taille, creux, capables de porter de telles charges. Il fallait donc une bonne profondeur d'eau pour la flottaison de pareils arbres, ce qui exclut toute possibilité d'avoir des arbres vivants sous une couche d'eau aussi profonde.

10e Observation.

Tous ceux qui ont parlé des troncs-debout ont considéré leur station debout comme une preuve qu'ils étaient en place. Quant à moi, je pense juste le contraire et je vais essayer de prouver cette affirmation, au premier abord si paradoxale. J'ai montré (pp. 141, 174) quelle difficulté il y a, dans l'hypothèse autochtoniste, à justifier la composition lithologique des toits et leur parallélisme par rapport aux veines qu'ils surmontent. Dans cette hypothèse, en effet, le dépôt du toit correspondrait toujours à une transgression et même, dans certains cas, à une transgression marine.

J'ai montré que les caractères des toits ne concordent pas avec le fait d'une transgression. Or je prétends que la présence de troncs-debout, juste à ce niveau, à la base des toits, leur position favorite, complique encore la situation, dans le cas d'une transgression. Le gisement préféré des troncs-debout abondants appelés cloches est dans les toits psammitiques.

Une statistique dressée par M. Barrois, et dont nous parlerons plus loin, démontre ce fait d'ailleurs bien connu. Dans les toits de grès, bien rares d'ailleurs, le dépôt s'est fait en eaux si agitées, que les troncs-debout sont rarissimes. Il n'y en a que lorsque les grès alternent avec des schistes où les troncs trouvent assez d'appui pour résister à l'agitation lors de la formation des grès. Dans ces conditions, je trouve qu'il est logique d'admettre une situation fort rapprochée de la précédente lors du dépôt, par transgression, de sédiments psammitiques voisins, donc de sédiments sableux. Cela équivaut à dire que si la transgression, assez agitée pour déposer des psammites, avait rencontré des troncs-debout peu résistants, comme l'étaient ceux du Houiller, elle ne les aurait pas respectés; elles les aurait emportés ou du moins couchés. C'est ce que l'on voit dans toutes les tourbières actuelles envahies par la mer. Aucun arbre n'y reste debout ou ne dépasse le sommet de la tourbière si celle-ci a été envahie par autre chose que de l'argile très fine, et même dans ce cas les troncs-debout ou dépassants sont bien rares. Donc, dans l'hypothèse autochtone, il ne devrait pas y avoir de troncs-debout là où ils sont. Dans l'hypothèse allochtone, cette difficulté disparaît, car il n'y a pas transgression, ni même approfondissement, dans le cas d'un toit de roche psammitique. De plus le tronc, toujours plongé dans l'eau, ne court pas le risque d'être renversé par les eaux qui arriveraient envahir un marais par transgression. Le tronc plongeant debout, entouré de sédiments qui plongent comme lui, est immédiatement enlisé et soutenu de tous côtés. La chance d'avoir des troncs-debout est donc infiniment plus grande dans l'hypothèse allochtone que dans l'autre.

11e Observation.

Les nombreuses coupes, photos, dessins de troncs-debout que l'on a publiés mettent en évidence un fait dont il faut trouver l'explication et qui est le suivant : les troncs trouvés dans les grands bassins paraliques sont infiniment moins bien conservés que ceux qui existent dans les petits bassins limniques du Centre de la France. C'est surtout dans l'appareil souterrain

que la différence éclate. Cela a permis à Grand-Eury, qui a étudié ces bassins avec un zèle si louable, de nous renseigner sur l'appareil souterrain de quantité de plantes : calamites, fougères, cordaïtes, etc., qui n'était que peu ou pas connu avant lui. Il a représenté et décrit ces appareils dans des travaux trop nombreux pour être cités et d'ailleurs bien connus, car les belles figures qui les illustrent ont été fréquemment reproduites. Les plantes qu'il a figurées sont si complètes qu'elles réalisent tous les caractères que j'ai signalés, au début de ce chapitre, comme devant être présents pour qu'on puisse conclure à la situation en place, et c'est comme tels que tout le monde considère ces végétaux. Pourquoi faut-il que je jette un doute sur une opinion aussi unanime? Serais-je du nombre de ces caractères chagrins qui sont toujours dans l'opposition? Je vais exposer la cause de mes doutes.

Examinons les planche IX, fig. 12 et 13, et planche X de son mémoire (**63**). Nous y voyons représentés des troncs-debout pourvus d'un système de racines étagées comme on n'en voit jamais dans nos bassins. Ils sont si complets qu'on a peine à ne pas les croire en place. Cependant, je suis frappé de voir un fait inexplicable dans cette hypothèse. Pourquoi y a-t-il un parallélisme si curieux entre les strates de roches environnant les troncs et les racines de ceux-ci? De plus, ces strates, au voisinage des troncs, présentent fréquemment ce relèvement ou retroussement vers le haut, autour des troncs, qui a été considéré comme une preuve que les troncs ne sont pas en place. Si les troncs sont en place, leurs racines doivent s'être développées dans les roches environnantes, évidemment après le dépôt de celles-ci. Comment alors expliquer que la stratification de ces roches ait pris, en se déposant, l'allure des racines qui n'existaient pas encore. D'un autre côté, il est certain que les racines n'ont pas le pouvoir de déterminer, dans les roches, une stratification qui n'y existait pas. Elles pourraient tout au plus oblitérer une stratification préexistante. On comprend, par contre, très bien ce qui a pu se passer si les troncs ne sont pas en place. Dans les bassins du Centre de la France, très petits, des arbres qui poussaient au bord du lac ou du delta où s'accumulaient les sédiments houillers peuvent avoir été déracinés dans un état très complet, accidentellement; et comme ils n'avaient qu'un trajet minime à parcourir, ils ont pu se conserver très complets. Il n'en était pas de même dans nos bassins, et là est la cause de l'imperfection de nos troncs-debout. Dans l'hypothèse de la formation autochtone, la différence ne trouve pas d'explication plausible. Les

troncs avec racines si complètes, en s'enlisant, ont déterminé, dans le milieu où ils étaient, un obstacle autour duquel les sédiments sont grimpés, par un mécanisme bien connu et que l'on peut voir réaliser, sous ses yeux, en plantant un bâton sur une plage. Après une submersion, très souvent, mais pas toujours, on observe autour du bâton le relèvement en question. Sous l'eau les racines et radicelles, relevées par les tourbillons qui se forment autour du tronc, s'étalent sur les pentes du relèvement en contribuant, par leur présence, à le protéger et ainsi seulement on peut expliquer le parallélisme entre les racines et radicelles et les strates de la roche, au voisinage du tronc, quand il y a relèvement.

La figure 7 de la planche II du mémoire (**63**) représente encore un cas plus curieux : une souche avec des racines étagées est dressée dans une alternance de gros bancs de grès et de petits bancs de schiste. Dans le grès le schiste forme, autour du tronc et des racines, des sortes de manchons. Il est difficile de croire que la souche ne se trouvait pas là juste au moment où se formait ce complexe de roches et que c'est donc une souche flottée, puis enlisée. Le frottement des courants contre la souche et ses racines a ralenti leur vitesse au point de permettre le dépôt, autour d'elles, d'argile, alors que plus loin seul le sable pouvait se déposer.

Si les grandes figures comme celles en haut de la planche X (**63**) sont réelles et non pas des reconstitutions au moyen de cas réunis artificiellement, alors il y a sur cette figure des choses inexplicables *in situ*. On y voit côte à côte, très près, cinq ou six souches coupées net par un joint de stratification qui, tout à côté, n'affecte en rien d'autres souches beaucoup plus longues. Pourquoi cette différence? Il y a de petites souches coupées en haut et en bas par des joints et qui sont donc manifestement transportées.

La figure 8 de la planche IX (**63**) représente un tronc-debout identique à ceux de nos bassins, au-dessus d'une veine, et comme eux, ayant une souche coupée par un joint de stratification par le bas et manifestement pas en place, car il n'a qu'un nombre ridiculement petit de radicelles pour un pareil arbre.

Le Syringodendron de la figure 13, même planche IX, est exactement dans le même cas. Il n'a que des moignons de racines, à côté d'autres plantes qui en sont abondamment pourvues, avec le parallélisme signalé plus haut.

Tous les arbres et souches du bas de la figure 2, planche II

(**64**), obliquant fortement du même côté, donnent l'impression irrésistible d'objets flottant dans un courant. Il se peut qu'il y ait, dans tous ces cas, des troncs en place, mais le grand nombre de troncs-debout non figurés, parce que trop incomplets et manifestement flottés, me laisse songeur pour l'ensemble.

Il me semble que le fait de trouver côte à côte des troncs évidemment charriés et d'autres qui ne le seraient pas implique la coexistence de conditions de milieu incompatibles : Il faudrait une eau profonde pour permettre la flottaison et, par contre, les arbres ne peuvent pas vivre sous beaucoup d'eau. Je me demande aussi comment il se fait, si les troncs sont en place, qu'on n'en ait jamais trouvé un seul complet, pourvu de ses branches et de ses feuilles. Invariablement, ils sont réduits à leur base. Or, il y a des troncs ayant encore plusieurs mètres de long. Rien n'empêcherait de jeunes arbres de cette hauteur ou, mieux encore, des plantes de faible stature, les fougères par exemple, d'avoir toute leur hauteur sur pareille longueur et d'être complets. Les belles et grandes empreintes de fougères étalées dans les toits, merveilleusement conservées, malgré le long chemin qu'elles ont parcouru, prouvent qu'elles n'étaient pas tellement fragiles. En résumé donc, j'aimerais, pour être convaincu de l'autochtonie de beaucoup de ces troncs, d'avoir une étude un peu plus fouillée des circonstances du gisement. Trop longtemps on a laissé vivre l'axiome que les troncs-debout sont en place.

Chaque fois que l'on examine une description de ces curieux objets, on s'aperçoit des lacunes que présente leur étude. Si les conditions ne sont pas favorables, on ferait mieux de le dire et de ne pas tirer de conclusions basées sur l'un ou l'autre caractère plus ou moins probant.

Une affirmation n'a guère de valeur. Ainsi, quand on examine les descriptions que H. Potonié a données du gisement de Senftenberg, on s'aperçoit que dans son étude il y a plus d'affirmations que de preuves. Si l'on examine la planche III (**106**) de son travail, on n'est pas peu étonné de voir, au beau milieu de la couche, des souches ne présentant que d'infimes moignons de racines et ressemblant à tous égards aux troncs-debout du Houiller du type le plus commun. Potonié ne dit rien de ce fait et ne tente donc pas de nous expliquer pourquoi, sur un tronc en place qui a résisté à la décomposition tourbeuse, ses racines, beaucoup moins périssables que lui, ont disparu. Cela jette du doute sur l'autochtonie de ce gisement, sur lequel cependant, dans tous ses écrits, l'auteur se base pour affirmer l'autochtonie

des gisements houillers. J'ai lu la plupart des descriptions de gisement de ces troncs, — et il y en a! — et je n'ai jamais rencontré un cas où le fait de la position en place fût évident. Toujours les auteurs se contentent de faibles indices et négligent l'absence de faits et de particularités que ces troncs devraient présenter pour être en place.

12e Observation.

Nous allons encore rencontrer un de ces nombreux exemples où l'on voit des auteurs considérer comme preuve d'autochtonie deux faits diamétralement opposés. En décrivant un tronc observé dans un mur, et dont nous parlerons plus loin, M. A. Renier (**111**, p. 289) considère que le transport de ce tronc doit être écarté du fait que la roche qui enrobe le chevelu de ses racines est de même nature que le mur normal auquel il est d'ailleurs intimement lié. Nous avons vu dans l'observation précédente que Grand-Eury figure (**64**, pl. II, fig. 7) une souche qui, avec quelques-unes de ses racines, est enrobée de schiste, le tout enclavé dans du grès, et cependant il la considère comme en place. Dawson a décrit le cas curieux, difficilement explicable, d'un tronc plongé dans du schiste mais ayant, entrelacé dans ses racines, un amas de grès (**36**, p. 120), et il le considère comme en place.

Les arguments tirés de ce genre de faits ne me paraissent pas avoir grande valeur, ni dans un sens ni dans l'autre. Je ne saisis pas bien pourquoi le tronc de M. Renier, s'il était transporté, devrait avoir une enveloppe différente de son entourage, surtout s'il a grandi dans un sol ayant la même composition lithologique que le mur où il est enseveli. D'ailleurs, durant sa flottaison, il a eu le temps de se débarrasser des robes terreuses qu'il pouvait porter, et alors, en s'enlisant dans une roche en voie de sédimentation, comment aurait-il pu avoir autour de lui autre chose que les sédiments dans lesquels il s'enlisait? M. Renier, dans ce travail, décrit encore d'autres troncs qu'il considère comme évidemment en place. L'un de ceux-ci (p. 285) est, dit-il, certainement en place, parce que sa gaine charbonneuse se fond dans le charbon de la veine sous-jacente. Les deux coupes qu'il en donne montrent que c'est un misérable débris de tronc, ne possédant plus aucune trace de racines. Il passe par transition insensible à l'escaille qui forme le faux-toit de la veine. Or, une escaille, M. Duparque l'a démontré (**47**), est formée d'une alternance de lits brillants de charbon et de lits ternes schisteux. Le charbon laissé par l'écorce des racines et

des radicelles pourrait passer inaperçu dans les lits de charbon, mais devrait être visible comme des lignes brillantes transversales au travers des lits schisteux et devrait dessiner la forme générale de ces organes. Or, il n'y en a pas la moindre trace. M. Renier attache beaucoup d'intérêt au fait de voir le charbon du tronc se fondre dans celui de la couche. C'est pour lui un argument important en faveur de la fossilisation sur place, dit-il page 299. On sait que lorsqu'il y a des empreintes végétales houillifiées dans un toit, ce charbon ressemble complètement à celui de la couche. Dans ce cas, comment pouvoir distinguer, sur des sections d'écorce ayant rarement plus d'un centimètre d'épaisseur, le joint qui théoriquement doit séparer cette écorce du tronc-debout du charbon de la veine qui existe au-dessous? C'est impossible, et les deux doivent paraître unis, fondus même, sans que cela ait la moindre signification.

13e Observation.

Pas un botaniste n'admettrait, dans la Nature actuelle, qu'un grand arbre puisse vivre sans racines. Comment se fait-il qu'ils soient moins exigeants, comme beaucoup de géologues et d'ingénieurs, sur cette question, quand il s'agit d'arbres houillers? C'est qu'il y a moyen de tourner la difficulté en donnant des raisons à l'absence de racines. Il y a d'abord l'hypothèse, facile à émettre, car on ne saurait ni la prouver ni l'infirmer, que tout l'appareil souterrain de l'arbre s'est transformé en charbon dans une veine et n'est donc plus visible. Comme nous l'avons montré, il y a très peu de cas où cette explication puisse tenir. Elle ne peut tenir, par exemple, quand il n'y a pas de charbon épais à proximité des troncs. En pareil cas on se rejette sur une autre hypothèse : c'est que la souche, ou les racines, auraient été séparées des troncs par des glissements ou des failles. Ce qui semble donner une certaine vraisemblance à cette théorie, c'est qu'il n'est pas très rare de voir des troncs sectionnés par de semblables accidents tectoniques, avec déplacement relatif des fragments. J'en ai cité, après beaucoup d'autres auteurs, plusieurs exemples (**153**). Mais dans tous ces exemples il est facile de voir que le déplacement est très faible. Quelques centimètres; aussi les morceaux restent tous visibles, un peu écartés seulement. Les exceptions sont fort rares. Mais l'existence de glissements parallèles aux strates ou de failles est si facile à reconnaître, qu'on doit considérer comme n'existant que dans l'imagination de leurs auteurs tous les glissements ou failles invoqués, si l'on n'en donne pas les preuves. Celles-ci

consistent dans l'existence de joints polis, parfois à un degré extrême (miroirs de faille). Les joints peuvent être striés en même temps que polis (*Slickensides* des Anglais). Enfin, les joints glissés sont souvent tapissés de pholérite (ou d'une matière verdâtre non encore étudiée, dans le Houiller inférieur). Quand il y a des débris végétaux couchés sur le joint où un glissement s'est produit, ces débris ont leur ornementation plus ou moins détruite par le frottement des deux lèvres du joint. Quand ces caractères font défaut sur un joint, c'est sans aucun fondement qu'on le considérerait comme un joint de glissement. Il y a de très nombreux glissements que des auteurs ont invoqués, sans indiquer qu'ils avaient pris les précautions nécessaires pour vérifier la présence des indices susdits de glissements. Ils croyaient sans doute qu'il suffisait de faire appel à un glissement pour qu'il fût admis.

Quand on a signalé, comme le fit G. Schmitz (**124**) et comme je l'ai fait (**153**, pp. 37, 42), des empreintes végétales reconnaissables, appliquées sur la base d'un tronc-debout sans racines, ces empreintes sont bien gênantes pour ceux qui considèrent ces troncs sans racines comme en place. Elles montrent, en effet, que ces troncs n'avaient déjà plus de racines lorsqu'ils se sont déposés sur ces empreintes. Il ne reste plus qu'un moyen : c'est de supposer que le tronc est arrivé sur l'empreinte par glissement. Dans les cas que j'ai cités, j'avais eu soin de vérifier qu'il n'y avait aucun indice de glissement. Mais il y a des cas où il est aisé de voir qu'un glissement est inadmissible et où cependant on y a recours. Mathet (**94**) donne une coupe du Houiller de Blanzy, où il figure une forêt de Lépidodendrons, forêt dont aucun arbre, dit-il, n'a de racines! Cela serait dû à des glissements qui ont séparé les troncs de leurs racines. Il ne s'est pas rendu compte qu'il est aisé de prouver que ses glissements n'existent pas. Il donne une coupe où quatre troncs sont coupés, en bas, par un joint de glissement, dit-il. Mais si l'on prolonge ce joint, à droite et à gauche, il rencontre des troncs beaucoup plus longs et descendant plus bas qui devraient être coupés et rejetés par ce glissement. Mais ils sont intacts et il n'y a donc eu aucun glissement. Ceux qui ont si volontiers recouru à des glissements devraient nous dire pourquoi ce sont toujours les troncs qu'on voit rejetés et glissés et si rarement les souches coupées en haut. Il doit évidemment y avoir autant de souches que de troncs.

Dawson considère comme en place des troncs qu'il figure (**38**, fig. I). Or, il y a là trois troncs sans traces de souche ni

racines, coupés en haut et en bas. Dawson n'invoque pas, pour expliquer ces faits, des glissements qui, dans ce cas, seraient inadmissibles, car les joints de glissements devraient passer au travers d'un tronc voisin beaucoup plus long et plus complet, ne montrant aucune trace de glissement.

14e Observation.

L'éminent géologue Ch. Barrois (**9**) a voulu attaquer le problème des troncs-debout par une tout autre méthode : par la statistique. On l'a dit maintes fois, il n'y a pas d'outil plus souple que la statistique, car on peut l'utiliser successivement pour démontrer les thèses les plus opposées. C'est encore le cas ici. M. Barrois tire de sa statistique la conclusion que les troncs sont en place. Moi j'en déduis qu'ils sont charriés! Ce qui fournit tant d'indécision à la statistique, c'est que l'interprétation des chiffres n'a rien de mathématique. C'est une question d'appréciation, voyons le pour et le contre des deux conclusions. Disons d'abord qu'une statistique à propos d'un terrain où l'on fait tant de beaux travaux, et M. Barrois est un des travailleurs les plus actifs, que cette statistique, dis-je, est fatalement provisoire. Ainsi, dans les deux concessions où il a puisé ses données, M. Barrois n'a pas trouvé de troncs dans les toits de la catégorie qu'il intitule B et qui comprend les toits de schiste fin, noir, riche en débris organiques, coquilles, poissons, etc. et pauvre en végétaux bien conservés. Tous les troncs seraient localisés dans les toits de la catégorie A, tantôt sableux, tantôt schisteux, et riches en belles plantes étalées. J'ai trouvé deux troncs dans un toit typique de la catégorie B (**153**, p. 39). M. A. Renier en a décrit un, trouvé dans les mêmes conditions de toit d'une veine connue pour la persistance de son toit coquillier, dans les concessions à l'Ouest de Charleroi (**111**, p. 286).

Dawson a signalé (**37**, p. 623) un tronc-debout à travers un schiste charbonneux à coquilles, poissons, entomostracés (type B); puis à travers du schiste fin, puis du grès (type A) : il a 11 pieds de long. Dans un autre travail (**34**) il signale un tronc enraciné dans un calcaire bitumineux à Naïadites et Cypris; page 3 : une veine a au toit un schiste à végétaux et à coquilles (type intermédiaire entre A et B, très fréquent en Belgique); page 4 : une veinette, avec toit à Naïadites et Cypris avec troncs-debout; également page 7 : si l'on tient compte des prémisses posées par M. Barrois, il ne pourrait pas y avoir de troncs en place en pareil milieu. Si je cite leur existence, c'est pour amen-

der légèrement la conclusion que M. Barrois tire de ses chiffres en disant qu'il n'y a pas de troncs dans les toits du type B franc. Je dirais : ils y sont très rares. Cela étant, on peut dire que la statistique de M. Barrois confirme l'opinion courante, parmi les exploitants, que les troncs sont surtout abondants dans les toits du type A, bien plus rares dans les toits intermédiaires entre A et B, très rares dans les toits du type B franc. Contrairement à M. Barrois, je considère cette gradation comme une preuve que les troncs ne sont pas en place. En effet, il est absolument évident que la question des différences de toits n'a pas de connexion capitale avec le problème des troncs dans l'*hypothèse de la formation sur place*, adoptée par M. Barrois. Dans cette hypothèse, en effet, toutes les veines, quelle que soit la nature de leur toit, se sont formées à la même profondeur, c'est-à-dire au voisinage immédiat de la surface de l'eau, à bien moins de profondeur que 5 m., à laquelle les arbres actuels ne peuvent vivre, comme on le voit dans le *Dismal swamp*, où il y a des lacs aussitôt que l'eau s'approfondit. Or, ce sont ces veines qui, dans l'autochtonie, servent de sol végétal aux troncs-debout qui n'ont pas de racines visibles et même à ceux dont les racines s'étalent à la surface de la veine, car alors ce sont les agents nourriciers des troncs, les radicelles, qui s'insinuent dans la couche. Théoriquement donc, les couches étant dans des conditions égales, aucun autochtoniste ne nous a encore prouvé le contraire; il n'y a aucune raison pour qu'il n'y ait pas de troncs croissant debout sur les veines, *partout*. La statistiqne de M. Barrois montre que les troncs sont très localisés. Donc la théorie de l'autochtonie des troncs est en défaut et elle le restera jusqu'au jour où l'on nous expliquera ce qui, dans les conditions des veines, en apparence égale, est différent et justifie la localisation des troncs. Dans la théorie autochtone, quel est le rôle des toits vis-à-vis des troncs? Ce ne sont pas les sols de végétation qui font vivre les troncs, ce sont, au contraire, un des facteurs qui tuent les troncs-debout en les enlisant. Ils ne peuvent donc avoir provoqué la localisation des troncs vivants sur place, puisque le toit ne commence à se former qu'après la mort du tronc.

Voyons maintenant si la statistique de M. Barrois est contraire à la théorie de l'allochtonie des troncs. J'ai, au chapitre de la sédimentation, suffisamment exposé mes idées concernant la profondeur des bassins houillers en formation, pour ne pas avoir à y revenir. L'entrelacement extraordinaire des deux types extrêmes de roches houillères : sable et argile; les passages latéraux sont si abondants, que je crois qu'en laissant la

zone littorale à part, d'ailleurs si rarement conservée, il ne doit pas y avoir eu de grandes différences locales de profondeur. Ce qui réglait la nature de la sédimentation, c'était, comme dans la mer du Nord actuelle, l'influence des conditions locales d'agitation, de courant et de mouvement. C'est d'ailleurs aussi à ce facteur que l'on doit les différences dans la répartition des débris végétaux. Ce facteur est aussi un de ceux qui affecte beaucoup les animaux aimant les milieux calmes, comme les Carbonicolidés, par exemple. A côté de ce facteur local il y en avait probablement un autre qui, comme dans les grandes mers actuelles, provoquait la séparation entre les zones de sédimentation argileuse et sableuse. C'était la profondeur. Je me représente une cuvette de grand bassin houiller comme montrant une étroite zone côtière à sédiments grossiers, presque disparue partout. A côté une zone plus large avec des sédiments intermédiaires, psammites et schistes psammitiques, avec des taches locales argileuses ou sableuses, puis finalement une zone centrale argileuse. Il me semble, dans ces conditions, qu'on doit trouver logique, dans l'allochtonie, une répartition de troncs comme celle de la statistique de M. Barrois. Les troncs arrivent du dehors et doivent d'abord se précipiter, nombreux, dans la zone littorale, dans les grès, mais là l'agitation est si forte que les troncs restent rarement debout; ils sont couchés dans tous les sens et souvent abîmés par le frottement des sédiments grossiers. Au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la côte, le nombre de troncs flottants doit diminuer de plus en plus, car ils coulent à fond successivement. C'est donc dans la zone intermédiaire, celle des roches psammitiques et schisto-psammitiques surtout, qu'on doit en trouver le plus, car là il y a encore assez de mouvement pour entraîner les troncs, mais pas trop pour les empêcher de couler à fond verticalement. Enfin on comprend que les troncs soient devenus très rares dans les eaux très éloignées et très tranquilles de la zone argileuse. Je ne vois donc pas en quoi la statistique de M. Barrois contredise l'allochtonie des troncs-debout.

Il y aurait encore un moyen d'étendre la statistique ingénieuse et utile de M. Barrois. C'est de profiter de la relation entre les cailloux roulés des veines et les troncs-debout, sur laquelle nous avons attiré l'attention et sur laquelle M. Barrois a les mêmes idées que moi. Mais il faudrait pour cela que chaque fois que l'on fait une trouvaille de ces cailloux on ait soin de noter la nature et les caractères du toit de la veine, au-dessus du point de trouvaille. Je n'avais pas encore pensé à ce détail; mais main-

tenant j'en saisis l'importance, grâce au travail statistique de M. Barrois. A ce point de vue, je sais déjà que beaucoup de cailloux roulés que j'ai décrits jadis proviennent d'une veine, la veine Léopold, dans la partie du bassin où la couche présente un toit du type B franc avec coquilles, poissons et même des lingules.

15e Observation.

Il y a non seulement des troncs-debout dans les stampes et dans les toits, mais il y en a aussi dans les murs. La chose n'a rien d'étonnant. Ce qui est incompréhensible, comme nous l'avons dit dans notre étude du mur, c'est qu'on n'en trouve pas des quantités prodigieuses, tout au moins les souches des arbres qui constituaient la forêt des autochtonistes. On ne peut pas expliquer leur absence, comme je l'ai montré alors. A priori, on sait qu'il doit y avoir des troncs charriés dans les murs, puisque plusieurs auteurs y ont découvert des cailloux roulés transportés par des arbres flottants, comme tout le monde l'admet. Dans le très petit nombre de ces troncs que l'on a décrits et figurés, il n'y en a qu'un seul qui puisse avoir quelque prétention à passer pour être *in situ*. C'est celui qui a été décrit par M. A. Renier (**111**, p. 282). Et cependant, je pense qu'il ne l'est pas, en me basant sur les considérations suivantes.

Les arbres du mur, pour pouvoir être considérés en place, doivent présenter quelques particularités. Tout le monde admet que les arbres houillers ne vivaient pas souterrainement. Ils avaient une souche et des racines souterraines, mais le tronc et ses appendices étaient aériens avec, d'après certains auteurs, plus ou moins d'eau à la base des troncs. Durant toute la vie de l'arbre il a dû y avoir, au niveau de la naissance du tronc, un joint correspondant au sol de la forêt ou au fond du marais ou de la lagune, suivant les diverses variantes de l'autochtonie. Ce joint ne peut manquer, dans une forêt, d'être tapissé de litière tourbeuse. C'est la future veine ou veinette, ou c'est le joint d'une passée, quand le mur s'est formé en plusieurs fois. Le tronc figuré par M. Renier n'est pas à la base de la veine, mais en plein mur, au point que sa souche commence à 2 m. sous la veine. C'est un tronc enterré. Pourquoi? M. Renier ne le dit pas. On chercherait vainement dans son dessin trace de la passée ou tout au moins du joint qui a dû nécessairement exister au niveau du sommet de la souche. Au-dessus même de cette souche il y en a deux autres plus rapprochées de la veine, mais qui ne montrent, non plus, aucune trace de cette passée ou de ce

joint. Malgré l'état relativement et exceptionnellement complet de ce tronc, il se trouve donc dans une situation anormale et inexpliquée et ne peut donc servir d'argument décisif pour l'autochtonie. D'ailleurs il a toutes ses racines cisaillées par des glissements. On ne sait donc pas si ces racines sont complètes ou non. Cela rend ce tronc encore moins décisif.

16e Observation.

J'ai eu la bonne fortune de pouvoir observer une souche dans un mur, complètement renversée et incontestablement charriée. La valeur démonstrative du fait m'engage à reproduire la figure que j'en ai donnée (**153**, fig. 10, p. 43). Elle se passe de commentaires.

a) Veine du fond; *b*) Mur ordinaire avec radicelles; *c*) Mur en gros bancs avec radicelles plus rares; *d*) Section d'un *Stigmaria*;

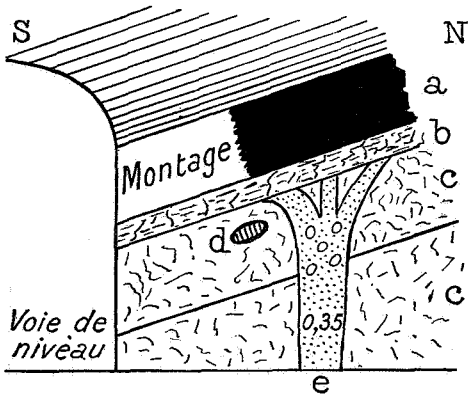

FIG. 8.

e) Tronc très aplati, montrant, près de la bifurcation des racines, des cicatrices d'insertion de radicelles bien reconnaissables qui, sur le tronc, disparaissaient rapidement.

J'ai vu un cas semblable au charbonnage de Falisolle, mais les circonstances ne m'ont pas permis d'en prendre la coupe. Je viens encore de trouver une petite souche renversée, dans une carotte du sondage de Klaverberg, que je suis occupé à débiter au charbonnage André Dumont.

La souche figurée par le R. P. G. Schmitz au mur d'une veine (**122**) est un peu inclinée (13°), mais elle donne lieu à la même observation que celle décrite par M. Renier et ses racines sont trop rudimentaires.

17e Observation.

Binney (**18**) a décrit un tronc de Sigillaire debout dans un mur de veine et qui présentait les deux particularités suivantes peu ordinaires. Il n'avait que deux racines, et du même côté, au lieu de quatre. Il était donc manifestement incomplet et amputé. De plus le tronc était rempli par la roche argileuse du mur environnant (*fireclay*), tandis que les racines, à gaine de sidérose, étaient remplies de grès fin avec leur axe conservé. Pareil fait ne peut s'expliquer que si l'arbre et les racines étaient déjà décomposés avant leur arrachement du sol natal gréseux, dont la roche avait pu alors remplir les racines. Dans cet état le tout aurait été emporté et charrié jusqu'au point où il s'était enlisé dans le mur en formation. Il paraît impossible que le grès soit pénétré sur place dans les racines.

18e Observation.

Dans les formations continentales du Landénien du Brabant il y a des couches de lignite sans mur et sans racines, donc allochtones. J'ai décrit (**146**) de superbes troncs silicifiés debout dans un banc de grès, absolument identiques comme stature et dimensions, aux troncs du Houiller. Comme eux aussi leurs racines étaient sectionnées au ras de la souche et non pas par décomposition, car on trouve des racines éparses dans le grès. M. Ledoux, qui a décrit le gisement après moi, y a vu un gros tronc cassé en deux, les morceaux encore adhérents.

CHAPITRE VII.

Les coal-balls du Houiller.

Les concrétions calcaires ou dolomitiques, à végétaux à structure conservée, ont fourni de précieux renseignements à la paléontologie végétale. Ils peuvent aussi être utiles à la géogénie, comme nous allons le voir.

Leur étude a été l'objet d'un travail fondamental de la part de M. Stopes et D. Watson (**162**). Dans les lignes qui vont suivre on trouvera beaucoup d'emprunts à ce travail et nous considérerons comme acquises certaines thèses qu'ils ont brillamment défendues, telles que l'existence de plusieurs niveaux de veines à *coal-balls*, dont la liste s'est encore étendue depuis, au point qu'on peut dire qu'on les a trouvés dans toute l'épaisseur du Westphalien et du Namurien. Ils ont aussi montré que ces nodules sont formés sur place et qu'ils diffèrent des nodules

calcaires du toit des veines où on les trouve. Ils abordent aussi l'étude des diverses observations faites par des auteurs dont nous exposerons plus loin les conclusions. Au point de vue géogénique, une des questions très importantes soulevées par l'existence de ces nodules est de savoir s'ils se sont formés en même temps que s'accumulait la matière végétale formant la couche où on les trouve, ou si leur formation est postérieure et s'est accomplie durant le dépôt du toit, ou après, ce qui est l'opinion générale jusque maintenant. La tendance a toujours été, en effet, de croire que le calcaire de ces nodules provenait des coquilles calcaires marines du toit. Se basant sur les expériences de Stocks et sur leurs observations, ils repoussent cette opinion, et avec infiniment de raison ils se rallient aux conclusions de Stocks, adoptées aussi par M. Hirmer (**76**). Si l'on en juge par l'exposé final qu'ils font, page 210, des conditions dans lesquelles se sont formés les nodules, ils admettent que la fossilisation calcaro-dolomitique des plantes a déjà commencé durant l'accumulation des matières végétales. Ils disent aussi, page 173, que leur figure 1 et la photo figure 2, planche 17, prouvent que les nodules étaient formés, en place, avant que la matière végétale fût transformée en charbon. Mais d'après leurs conclusions, page 210, ils admettent que la formation de ces nodules a continué après que le toit eût commencé à se former, dans la mer, où, comme on le sait, les toits de toutes les veines à *coal-balls*, quelles qu'elles soient, se sont déposés. C'est ce que prouve la faune purement marine de ces toits, car les veines au toit à lingules seulement n'en ont pas encore montré.

Je pense que cette opinion est exacte, car, comme nous allons le montrer, en partie d'après leurs travaux, il existe des faits pour montrer que la formation des nodules a commencé durant le dépôt des matières végétales et s'est encore continuée après. Une chose est certaine cependant et ne doit jamais être perdue de vue : les recherches micrographiques ayant montré, depuis leur travail, que la transformation des matières végétales en charbon a pour effet de donner naissance à un gel colloïdal amorphe, en détruisant la plupart des tissus si admirablement conservés dans les nodules, il s'ensuit que ces nodules à structure conservée sont toujours antérieurs à la houillification des matières végétales, fait capital, d'ailleurs affirmé par Stocks, le premier. Leur travail touche encore à des problèmes étudiés dans d'autres chapitres, nous ne parlerons ici que des faits suivants glanés dans ce travail :

a) Page 176, figure 2, ils décrivent un gisement unique dans

son genre observé dans la *great Harwood seam*, à niveau géologique exact inconnu, mais voisin de celui des autres veines à nodules. Le calcaire avec végétaux, à structure beaucoup moins bien conservée que dans les nodules ronds, se présente là en lits lenticulaires, parfois de plusieurs pieds carrés, mais très minces, interstratifiés dans le charbon de la veine. Il est difficile de ne pas admettre, en présence de la figure donnée, que le dépôt calcaire est contemporain de l'accumulation des végétaux.

b) On a trouvé, à Shore, au-dessous d'un énorme *coal-ball*, dont nous parlerons plus loin (p. 256), un *coal-ball* dans le mur de la couche. Aucun détail n'étant donné (p. 180), on ne peut dire quand ce nodule s'est formé;

c) Ils décrivent aussi, avec quelques détails supplémentaires, le remarquable cas de la réunion d'une veine à nodules avec la veine Gannister, cas que nous exposerons plus loin. Les coupes qu'ils donnent sont malheureusement schématiques et insuffisantes pour trancher certains problèmes, comme nous le dirons plus loin;

d) Leurs conclusions les plus importantes sont tirées de l'étude de la flore des *coal-balls*, comparée avec celle des nodules du toit des veines à *coal-balls* (les *roof-balls*) et avec celle du toit des veines de l'assise où se trouvent les veines à *coal-balls*.

D'accord avec le Dr Scott, ils déclarent (p. 205) que la flore des nodules est si différente de celle des deux autres gisements, qu'elle indique des conditions d'existence très différentes. La flore des nodules serait une flore typique de *swamp* salé, croissant *in situ*, tandis que les deux autres flores seraient transportées et viendraient de régions plus élevées et plus sèches. Comme je le dirai au chapitre traitant de la végétation houillère, je pense que toutes les flores houillères, aussi bien celle des *coal-balls* que celles du toit et des stampes stériles, sont des mélanges de plantes ayant vécu dans des milieux très divers. La thèse soutenue par les auteurs vient indirectement à l'appui de mes opinions. Néanmoins, je dois reconnaître que les arguments invoqués par eux ne sont pas pertinents, et cela pour deux raisons : la première c'est que leur comparaison porte sur deux termes qui ne sont pas comparables. Les auteurs se sont laissés impressionner par des listes de fossiles aux noms différents, alors qu'on ne saurait affirmer si cette différence est réelle. La détermination des plantes des *coal-balls* repose uniquement sur des caractères de structure interne, d'anatomie donc, tandis que la détermination des plantes de toit est basée

uniquement sur les caractères morphologiques externes. Le Dr Jongmans est, paraît-il, du même avis que moi (**76**, p. 308), et Hirmer, qui a repris récemment une étude de la question des *coal-balls*, n'admet pas non plus la conclusion des auteurs (**76**). La seconde raison c'est qu'on ne doit pas tirer d'un fait régional, l'étude des flores du Lancashire, une conclusion à caractère général, c'est-à-dire l'habitat des plantes houillères.

Je n'en veux pour preuve que le manque de fondement d'une des différences qu'ils invoquent : page 209, ils disent que, dans le Lancashire, *Crossotheca Hoeninghausi*, aussi très abondante dans les nodules, est très rare dans les toits.

En Belgique, cette plante est, au même niveau, très abondante dans les toits et inconnue dans les *coal-balls*. Et alors? J'estime aussi que l'emploi de listes brutes de fossiles, sans aucune indication de fréquence et sans critique de la valeur respective des termes, n'est plus admissible maintenant.

On a été pendant longtemps disposé à rechercher l'origine du calcaire des nodules dans des infiltrations d'eaux calcaires qui, après la formation de la couche, auraient pétrifié, en certains points, les débris végétaux constituant la couche. D'aucuns recherchent l'origine de ce calcaire dans la dissolution des lits calcaires ou de coquilles contenues dans le toit. Cette origine est inadmissible. D'abord elle n'explique pas la présence de la dolomie, souvent dominante. Les calcaires des toits marins sont très impurs, très peu solubles et sont enveloppés dans des schistes argileux imperméables. Aussi on ne voit jamais de traces de dissolution de ces calcaires et les coquilles ont le même aspect que celles de tous les niveaux fossilifères marins.

M. Stocks (**161**) a émis une hypothèse beaucoup plus rationnelle. Il attribue la formation à l'action directe de l'eau de mer et non pas au bicarbonate de chaux de cette eau, mais au sulfate qui y existe en proportion dix fois plus forte. Il a fait des expériences très intéressantes, montrant que la précipitation des sels de chaux, si elle se fait en eau pure, donne des précipités cristallins, tandis que si elle se fait au sein d'eau chargée de matières colloïdales, elle donne lieu à des masses sphériques botryoïdales. Il admet donc que l'eau a pénétré dans la matière végétale par osmose, et là, en présence des sels humiques, s'est débarrassée de ses sels calciques (ou magnésiens), en y formant des concrétions en certains points privilégiés. En pareil milieu anaérobie, les bactéries oxydent les matières végétales en réduisant les sulfates de chaux et de magnésie en sulfures, pour se procurer l'oxygène. L'acide carbonique formé transforme les

sulfures en hydrogène sulfuré et en carbonates, qui se précipitent en prenant donc la forme sphérique. Ce mode de formation me paraît beaucoup plus logique, et il a encore un autre avantage dont ne parle pas Stocks : c'est de donner la raison de la forte teneur en soufre, fait signalé par Barrois, par moi et par beaucoup d'auteurs, dans le charbon des veines à toit fossilifère marin. J'ajouterai encore que si nous pouvons nous baser, comme terme de comparaison, sur ce qui se passe aujourd'hui dans la mer Noire, nous pouvons supposer que ces réactions ne se sont produites qu'au delà d'une profondeur de 400 m. Dans la zone moins profonde, l'oxygène libre est présent, et le milieu est aérobie, grâce à l'agitation produite par les vents, les courants, etc. La mer Noire est aussi une mer fermée, comme les bassins houillers, mais elle est bien plus grande et ses tempêtes sont terribles; d'où son nom. On peut donc supposer que dans les bassins houillers en formation, la zone aérobie était bien moins épaisse, réduite qu'elle était par des apports, en mer fermée, de quantités énormes d'acides humiques et autres. Mais M. Stocks a encore fait une autre observation, encore plus grosse de conséquences. Contrairement à l'opinion générale, il admet que la formation des nodules s'est faite durant la formation de la couche et non pas après. Tout le monde sait qu'une couche de houille n'a pas la même épaisseur que les végétaux empilés qui ont concouru à sa formation. Ces végétaux ont subi une réduction de volume. Ce sont les nodules en question, où la réduction est faible ou nulle, qui comptent parmi les critériums les plus sûrs pour évaluer cette réduction par comparaison. Une couche de houille épaisse — et celles qui renferment des nodules le sont comme les autres — demande, pour se former, un certain temps, durant lequel elle se tasse, se décompose et se réduit de volume. Donc, s'il fallait attendre la formation du toit et même d'une certaine épaisseur de toit, pour comprimer la couche, pour voir les nodules se former, ceux-ci auraient déjà trouvé toute la matière végétale de la couche plus ou moins comprimée et réduite. Ce n'est pas le cas, comme l'ont montré ceux qui ont étudié les nodules à ce point de vue. Comme il y a des nodules à toute hauteur dans les couches, il faut que, de toute façon, leur formation ait précédé tout tassement ou compression. En d'autres mots, la formation des nodules, pour satisfaire à cette condition, doit marcher de pair avec la formation de la couche. Une fois formés et cohérents, ils protègent alors les débris végétaux, qu'ils enrobent, contre toutes les transformations et compressions que les matières voisines subis-

saient. Mais il est une observation qui me paraît démontrer que la dolomitisation d'une couche, avec conservation de structures végétales, a eu lieu après la compression d'une couche. Là, en effet, la partie dolomitisée n'a pas plus de puissance que la partie qui ne l'est pas, contrairement à ce qui se passe dans les cas habituels. Il y a d'ailleurs un intermédiaire entre ces cas habituels et celui que je vais citer; c'est le cas des lentilles de la *Great Harwood seam* signalé plus haut. Malheureusement, ce cas nouveau a été mal étudié et son étude est devenue impossible. Il s'agit d'un fait cependant bien curieux, décrit par A. Strahan (**163**). Une veine s'est transformée en une couche de dolomie presque chimiquement pure, renfermant des traces de végétaux à structure conservée. On n'est pas parvenu à retrouver le charbon au delà de cette zone dolomitisée, qui doit donc être fort étendue. La pureté de la dolomie montre qu'elle s'est formée en même temps que le charbon voisin, comme le montrent d'ailleurs les pénétrations réciproques du charbon et de la dolomie à leur contact. La dolomie se présentait là en masses concrétionnées, botryoïdales, se transformant graduellement en petites pelotes englobées dans le charbon. L'auteur n'a malheureusement pas vu l'analogie entre ce phénomène et celui des *coal-balls*, et il ne s'est pas occupé de savoir si le toit de la veine avait une faune marine. Un phénomène semblable, mais sur une échelle beaucoup moindre, se présente, paraît-il, dans la couche Petit-Buisson, au charbonnage de Bray, en Belgique : couche au toit à faune marine et charbon avec *coal-balls* typiques (**88**, p. 17).

Mais la preuve la plus décisive de formation de nodules dans une veine après le dépôt des matières végétales, mais sans doute avant la houillification, nous a été décrite par Stopes et Watson (**169**) (**162**, p. 188).

Dans le Lancashire, la veine *Bullion coal*, avec ses *coal-balls* et son toit à faune marine est parfaitement plane. A 12 mètres au-dessous passe la veine Gannister, avec un toit à plantes et sans *Coal-balls*. Près de Bacup elle se met tout à coup à monter avec une pente de 12° et vient ainsi se réunir à la veine Bullion. Aussitôt qu'elle est très près, on voit apparaître des nodules au sommet, et quand la réunion est complète, l'ensemble, comme c'est si souvent le cas, est plus épais que la somme des deux veines séparées, et il y a des nodules, non remaniés, dans toute l'épaisseur. Pour être bien sûr que l'infiltration des eaux marines ne s'est produite dans la partie inférieure qu'après la réunion, il faudrait réfuter l'objetion de Stocks, en montrant que

les nodules inférieurs contiennent des végétaux plus comprimés ou plus altérés que ceux du sommet. Il faudrait de plus voir si, par l'analyse micrographique du charbon, on décèle une différence de compression entre les végétaux des nodules et ceux du charbon entourant, si celui-ci a conservé la structure des végétaux qui l'ont formé. C'est évidemment un endroit où il serait désirable, comme nous le dirons à propos de la houillification, qu'on appliquât toutes les ressources de la technique moderne pour comparer la texture des divers lits des deux veines séparées et réunies et celle des nodules bien repérés de ces divers niveaux. Cette réunion a été jadis décrite et figurée par Aitken (**4**) et par H. Bolton (**20**). Si la coupe donnée par ce dernier est exacte, elle implique une discordance de stratification, et les preuves de bouleversement de la pointe de l'intercalation stérile, près de la réunion, me font croire qu'il y aurait là un cas conforme à la théorie de Stocks, malgré les apparences contraires. D'après des renseignements donnés dans les travaux cités, le charbon inférieur des veines réunies n'a plus les caractères du charbon de la veine Gannister. Cela étant, on pourrait admettre que la région où les veines sont unies formait, dans le fond de la cuvette houillère, un haut fond (le *horse* des Anglais). Ce cas est fréquent dans les bassins anglais, surtout dans le South-Straffordshire (**10**, p. 186). Lors de la formation de la veine Bullion, la mer a balayé le sommet de ce haut fond, et c'est sur ce haut fond dénudé que la veine s'est déposée en couche régulièrement étendue horizontalement. Les nodules se seraient alors formés de bas en haut, successivement, et devraient être uniformes. Pour vérifier ou critiquer l'hypothèse que j'émets, il nous faudrait, outre l'étude micrographique ci-dessus, une coupe exacte et détaillée de toutes les strates et veines avant et après la réunion.

Mais la supposition que je viens de faire, faute de détails à l'appui, me paraît bien hasardeuse, et il est plus simple d'admettre que les eaux marines venant de la couche Bullion ont pu pénétrer jusqu'à la couche Gannister et y former, après coup, des nodules. Mais comme la structure est conservée dans ces nodules, c'est la preuve évidente que la houillification ne s'était pas encore produite dans la couche Gannister; sans cela la structure de ses débris végétaux aurait été anéantie.

La découverte de végétaux à structure conservée, par M. Renier (**114**), dans les nodules à Goniatites de l'assise de Chokier confirme d'ailleurs le mode de formation attribué aux *coal-balls* par Stocks, car jamais personne n'a mis en doute la nature marine des sédiments de cette assise.

Les *coal-balls* ont encore donné lieu à d'autres déductions géogéniques : Mlle S. Leclercq, à la suite d'une étude d'un matériel exceptionnel, déclare (**88**, p. 65) que dans les nodules de la couche Saurue, les végétaux semblent hachés comme paille. Les tiges entières y sont rares. On comprend difficilement pareil état pour des débris végétaux tombés sur place, au sein de l'eau. Elle ajoute aussi, page 70, que dans les nodules de la couche Bouxharmont, recueillis sur quelque cent mètres carrés, elle n'a pas trouvé moins de vingt-quatre espèces différentes, d'après sa liste. L'auteur considère les couches à nodules, et les autres d'ailleurs, comme autochtones. Pour M. Deltenre (**41**, p. 220) la forêt houillère se composait d'une série de grands massifs formés d'un nombre assez restreint d'espèces. C'est un nouvel exemple de ce que, pour l'autochtonie, le pour et le contre sont également favorables. M. Deltenre a justifié sa manière de voir en montrant, par des cartes, que dans les toits à plantes de plusieurs couches il y a des taches parfois de plusieurs hectares où l'on ne rencontre qu'un très petit nombre d'espèces. Il voit dans ces taches des îlots où la forêt houillère aurait échappé à la submersion qui, aux alentours, formait le toit de ces mêmes couches. Quand on voit, dans le texte, la description de ces forêts, on constate que l'une (p. 213) ne se compose que de pennes de *Lonchopteris rugosa*. Une autre (p. 215) ne se compose que de feuilles de cordaïtes. Ce sont donc des forêts très spéciales. Parmi les divers habitants de ces forêts, aucun d'ailleurs ne possédait de racines. Pareille observation est sans valeur probante, quoique très intéressante pour des études de détail. Deltenre ignorait que dans les forêts tropicales, comme le rappelle Mlle Leclercq, il y a tous les types possibles de forêts, depuis celle qui ne se compose littéralement que de quelques espèces, jusqu'à celles qui sont des fouillis de plantes différentes. La localisation de quelques plantes sur un petit espace peut d'ailleurs être le résultat du charriage, soit que les courants aient apporté au même endroit le produit de la dévastation d'une forêt homogène, soit que des triages se soient produits en route. Combien de fois, lorsqu'on récolte des plantes dans les toits, n'a-t-on pas vu de résultats manifestes de pareils triages. Dans les schistes noirs à carbonicolidés on ne trouve que des trobiles ou des graines. Dans les schistes psammitiques un peu grossiers on ne trouve que des *Mariopteris* ou des *Sphenopteris*, parce que ces plantes sèches et coriaces résistaient mieux à l'usure, dans des sédiments grossiers, que les plantes plus délicates, qu'on ne retrouve que dans les schistes fins

La théorie de Deltenre est encore réfutée par la richesse de la flore des *coal-balls*. Celle-ci est si variée, que Stopes et Watson (**162**, p. 204) nous apprennent qu'un seul nodule peut contenir jusqu'à 20 espèces différentes de plantes. Vu le volume infime d'un nodule, on peut affirmer qu'une telle variété ne peut pas être naturelle, en place. Cette variété est une preuve de plus d'un mélange de flore par transport.

CHAPITRE VIII.

Les faunes du Houiller.

§ 1. — *Évolution des faunes du Houiller.*

Nos progrès dans la connaissance des faunes du Houiller ont été tels que nous pouvons les faire contribuer aussi à nous renseigner sur les conditons dans lesquelles les veines de charbon se sont formées. Des données très utiles à ce point de vue peuvent être tirées de l'évolution de ces faunes, si on les ajoute à celles que nous donnent la lithologie de ce terrain et l'étude des mouvements du sol déduite des transgressions et des régressions.

Il y a déjà longtemps qu'Ed. Hull, utilisant les matériaux existant alors, tenta une première synthèse montrant la succession des faunes à travers les assises carboniférienne des divers bassins anglais (**79**). Profitant de la découverte que j'avais faite de très nombreux niveaux fossilifères nouveaux, j'ai pu tenter de montrer en détail la transformation des faunes (**131**) (**144**) dans le bassin de Charleroi, puis dans celui de Liége. Achepohl et L. Cremer avaient aussi, antérieurement, poursuivi le même genre de recherches en Westphalie, et depuis lors de nombreux travailleurs se sont dévoués à la même tâche avec un tel succès, dans divers bassins, que M. Pruvost a pu nous donner plusieurs tableaux montrant la succession comparée des faunes houillères dans plusieurs régions. Je n'en citerai qu'un des plus récents (**108**). Grâce à l'ensemble de ces recherches, on peut supposer que les grandes lignes du problème nous sont maintenant connues et qu'elles peuvent servir de base à des déductions motivées. Nous allons résumer cette évolution en donnant, de façon générale, suffisante pour notre but, la faune de chaque phase et en ajoutant, pour chacune d'elles, un résumé des conditions lithologiques et géographiques supposées régner alors.

Les formations carboniférienne du Nord-Ouest de l'Europe se sont déposées dans une vaste cuvette comprise entre les reliefs

calédoniens de l'Ecosse et de la Scandinavie, au Nord, et les montagnes archéennes ou primaires des Vosges, du bassin de Paris et de l'Armorique.

1re Phase.

Le chanoine Delépine a montré que durant le Viséen il s'est produit une grande transgression marine, grâce à laquelle quelques sommets seulement des rides calédoniennes de l'intérieur de la grande cuvette échappèrent à la submersion. La région centrale, la plus vaste de la cuvette, était de profondeur moyenne, à en juger d'après ses sédiments : des calcaires, souvent très purs, où abondent des traces de concentration chimique (roches oolithiques); des phénomènes d'émersion locales : brèches, cailloux roulés et même de petites veines de combustible. La faune viséenne calcaire est riche et variée, marine naturellement, et indique des conditions biologiques en concordance avec les conditions géographiques énumérées ci-dessus. Au bord Sud de la grande cuvette, à ses deux bouts (Devonshire, Nassau), la profondeur est plus grande et il se dépose des boues à radiolaires, des argiles et des calcaires impurs avec faune plus riche en restes d'Ammonoïdes (facies du Culm).

2e Phase.

Une ébauche de plissement se produit dans la grande cuvette. Certaines régions émergent. C'est le cas, en Angleterre, sur les deux flancs de l'anticlinal séparant les bassins du Sud de ceux des Midlands, où, dans plusieurs endroits, la première assise du Houiller, notre assise de Chokier, fait défaut, ce qui n'est nulle part le cas chez nous. En effet, alors que, par le plissement, certaines régions se soulevaient, d'autres s'affaissaient, et c'est ainsi que l'assise en question présente, en de nombreux endroits, un facies que j'ai considéré comme de mer profonde. En effet, dans une région qui devait se trouver au centre d'un synclinal, à cette époque, aux environs de Flémalle, l'assise présente le facies classique de schistes fins avec nodules pétris de goniatites de tout âge. Les facies semblables du Dévonien supérieur de Belgique et de l'Eifel, du Jurassique du bassin de Paris ont été considérés comme tels. M. J. Cornet (**31**) a objecté à cela que l'assise renfermait aussi, en abondance, des pélécypodes à byssus (*Possidonomya Becheri*), lesquels sont des animaux littoraux. Il est facile de réfuter cette objection; c'est M. Cornet lui-même qui nous en donne le moyen, en signalant que les posidonomyes en question sont souvent attachées, par

grappes, à des troncs flottants. En effet, les mollusques à byssus ne peuvent se trouver en place sur des fonds argileux, où ils ne sauraient fixer leur byssus. Ils ont donc vécu ailleurs, sur des côtes rocheuses, et comme ce sont des coquilles plates et minces, elles flottent facilement et sont entraînées en pleine mer, par les tempêtes, ou bien elles s'accrochent à des bois flottants. Au contraire, les goniatites se trouvent là dans leur milieu pélagique favori et il est bien plus logique de les considérer comme en place. Faire le contraire serait aussi illogique que de considérer l'assise comme continentale, parce qu'elle renferme d'abondants débris de plantes continentales évidemment charriées. On a aussi argué de la présence de roches siliceuses pour dire que l'assise n'était pas pélagique. Il est certain que la petite mer fermée où se formait l'assise devait présenter des parties moins profondes où pouvaient se déposer des roches siliceuses. Celles-ci, d'ailleurs, à une exception près (Hozémont), sont toujours à grain extrêmement fin. Hozémont est probablement un endroit où l'on se trouvait près d'un bord de la mer. L'abondance des cailloux de phtanite à radiolaires dans le Poudingue du sommet de l'assise suivante indique d'ailleurs que des bancs de cette roche, non encore reconnue avec certitude chez nous, doivent cependant s'y trouver quelque part.

3e Phase.

Avec l'assise suivante, celle d'Andenne, commence la période réellement houillère. Le changement notable dans les sédiments, l'apparition du charbon en couches, indique une modification importante dans les conditions sédimentaires. C'est dans cette assise, sans aucun doute possible, qu'on rencontre la plus grande abondance de roches sableuses grossières, de conglomérats et de poudingues, les allures les plus lenticulaires, les stratifications les plus entrecroisées, en un mot les roches formées à la plus faible profondeur. Le mouvement d'approfondissement des mers s'est donc certainement arrêté chez nous, sur le bord Sud du bassin de Namur et sur le bord Nord-Ouest du même bassin, de même qu'en Angleterre, partout où existe le facies du *Millstone-grit*. Mais en Campine, l'approfondissement se poursuit. Malgré ces changements, la faune, à une minime exception près, reste absolument marine. Les niveaux fossilifères y sont très nombreux et la faune très variée (cf. pp. 106 et 166). Il y a des points où plus des deux tiers des roches de l'assise renferment des fossiles marins, des bancs de calcaire encrinitique notamment. J'ai développé ailleurs (**142**, p. 30) la

conséquence à tirer de ce fait, en opposition avec la présence de quelques dépôts charbonneux, au point de vue de la détermination de l'état de la cuvette où se sont formées les veines de charbon.

Il est certain que cette cuvette était restée absolument marine et, comme nous l'avons montré en étudiant les transgressions et les régressions (p. 171), on ne trouve aucune trace de ces phénomènes, qui auraient dû se produire si la formation des veines ou passées correspondait à une phase d'émersion. Tout à la fin de l'assise, en de rares endroits et dans des gisements particuliers, on voit apparaître les premiers représentants du groupe de mollusques, les carbonicolidés, qui vont bientôt après supplanter la faune marine. C'est un indice que la cuvette houillère, tout en restant aussi marine de caractère, commençait à se dessaler, sans doute sous l'influence des premières pluies abondantes.

4e Phase.

Le passage de l'état marin incontesté au début de l'état continental, que la plupart des auteurs admettent, dès l'apparition de la houille, ne fut ni brusque ni général. L'évolution de la faune le prouve à l'évidence. C'est dans l'assise de base du Westphalien, dans l'assise de Châtelet, que ce passage de la faune marine à la faune saumâtre ou douce s'est produit, comme le montre l'enchevêtrement de niveaux fossilifères que j'ai décrits dans de nombreux travaux de stratigraphie houillère, en partie cités dans ce travail. Dès la première veine, la faune marine à goniatites, à brachiopodes articulés, etc., très riche, est surmontée souvent, dans la même roche du toit, d'une faune à *Anthracomya*, fait qui se renouvelle plusieurs fois jusqu'au niveau le plus élevé du Houiller supérieur de l'assise de Flénu. Après quelques niveaux marins, variés et riches, apparaît un niveau à *Carbonicola* très étendu, très constant, celui de la veine Léopold. Cependant, en certains points limités, cette faune passe latéralement à une faune purement marine ou à un mélange avec des Lingules. La cuvette houillère présentait donc alors le même état que le lac Wenern, en grande partie d'eau douce, mais dont les points profonds sont restés salés.

Puis vient encore un grand niveau marin, mais où les brachiopodes articulés font défaut et qui, latéralement et verticalement, passe à du toit avec lingules et carbonicolidés, puis à du toit avec carbonicolidés seuls. C'est le grand niveau directeur de Sainte-Barbe de Floriffoux (passée de Laure des Français).

Après cela on ne trouve plus, en mélange, ou alternant avec les niveaux à carbonicolidés, que les lits à lingules de plus en plus rares et de plus en plus sporadiques, jusqu'au toit de la veine-base de l'assise suivante. Il serait difficile d'avoir transition par alternance ou passages latéraux et verticaux plus complets.

5e Phase.

Dans les deux assises suivantes, les carbonicolidés (trois genres) dominent sans conteste en niveaux nombreux et étendus, mais le facies purement marin reparaît encore dans trois niveaux espacés, dont deux ont été suivis de l'Angleterre jusqu'en Westphalie. Ils sont souvent, dans le même toit de veine, précédés ou suivis de carbonicolidés, et latéralement ils passent, les deux inférieurs du moins, à la faune à lingules seules.

En Angleterre, le nombre de ces niveaux est plus grand que sur le continent, par suite d'études sans aucun doute plus avancées.

Comme conclusion, si, pour expliquer chacun de ces changements de faune, non seulement dans le temps (en verticale), mais aussi en surface (latéralement), on devait recourir à des mouvements du sol capables de produire d'aussi importants changements de milieu, on verrait à quelles complications tectoniques inadmissibles il faudrait recourir. Il n'y a pas de doute que, sur les deux flancs du grand anticlinal séparant les bassins du Sud et du Centre de l'Angleterre, il y a une grande transgression continue depuis les *Middle-coal measures* (Assise de Charleroi et du Flénu en partie) jusqu'aux *Upper-coal measures* (Assise du Flénu et niveaux plus récents). Pareille extension de la cuvette houillère correspond à un grand approfondissement, alors que la formation des couches les plus nombreuses nécessiterait, dans l'autochtonie, une émersion presque continuelle.

Dans un travail récent (**145**) j'ai montré que l'on pouvait retrouver tous les niveaux fossilifères si variés de la quatrième phase, dans les moindres détails, du Hainaut jusque dans les Midlands. Et tout cela se serait passé dans un marais, unique dans son genre assurément. N'est-il pas indubitablement plus simple et plus logique d'admettre la théorie que je propose?

La cuvette ne serait jamais sortie des conditions marines. Sa profondeur seule aurait pu varier sous l'influence de quelques mouvements tectoniques précurseurs de la chaîne hercynienne. La salure aurait ainsi subi des modifications, passant d'une salure peut-être plus forte que la salure actuelle, à un état voisin, sinon égal à celui de l'eau douce, et cela sous l'action de précipitations fluviales se déversant dans des cuvettes fermées.

§ 2. — *Conditions d'habitat des carbonicolidés.*

Le rôle capital que jouent ces mollusques dans la faune du Houiller productif m'engage à étudier leurs conditions d'existence, pour voir ce qu'ils peuvent nous apprendre dans le problème houiller. Au début, la ressemblance extérieure de leur coquille avec celle de certains mollusques marins leur avait fait donner des noms rappelant ce fait (*Cardinia*, *Modiola*, *Avicula*). Plus tard, la presque unanimité des paléontologistes les a considérés comme d'eau douce ou tout au plus, pour quelques-uns seulement, d'eau saumâtre. On se base, pour dire cela : 1° sur leur milieu d'existence et sur la ressemblance complète de leur coquille avec celles de mollusques vivant, comme eux, dans des eaux très calmes, dans des boues très fines, riches en matières végétales profondément macérées (matières brunes, humiques); 2° de nombreux auteurs ont considéré comme une preuve d'habitat en eau douce des carbonicolidés les perforations de leurs crochets, parce que les mollusques congénères actuels continentaux (*Unio*, *Anodonta*) présentent le même phénomène. Pour certains, c'est une preuve absolument péremptoire. En bonne logique, on aurait dû se méfier de la valeur de cette preuve, car ni l'eau douce, ni l'eau salée n'attaquent ces crochets calcaires. Seules le eaux devenues acides (acide carbonique), par l'oxydation des matières végétales, jouissent de ce pouvoir. Donc, si le fond de la mer est tapissé d'une boue semblable à celle du fond des étangs où vivent les *Unio*, on y observera le même phénomène. Si l'on objecte qu'une vaste étendue d'eau marine ne peut être acide, je répondrai que la grandeur de la cuvette était compensée par la grandeur des apports de matières végétales, durant le Houiller. Mais la preuve est non seulement sans valeur en logique, elle l'est encore moins en fait. En effet, des auteurs ont observé non seulement des perforations, mais même des dissolutions complètes de coquilles marines, produites par le même processus que sur les coquilles d'eau douce. Cf. J. Murray (**96**), W. Dittmar (**45**), Bailey Willis (**176**).

Comme on le voit, l'identité des conditions de milieu est absolue et il n'est pas étonnant qu'il en résulte des organismes constitués de la même façon, car lorsque l'on compare les organismes marins avec ceux d'eau douce, on voit que ce sont surtout les conditions physiques des milieux ainsi que l'alimentation qui sont les facteurs influents, et rarement la salure.

A ces divers points de vue, les carbonicolidés ne peuvent intervenir dans notre discussion, ni pour ni contre aucune théorie.

Mais on sait que l'on peut connaître l'habitat de certains organismes en voyant en quelle compagnie ils vivent. Sous ce rapport, l'intervention de ces mollusques dans les diverses phases d'évolution des faunes houillères que nous venons de développer me semble parler clairement. Ils sont apparus, en Angleterre, dans le *Millstone-grit* (**60**) et en Belgique, au même niveau, c'est-à-dire dans une assise à faune typiquement marine, où eux seuls auraient été d'eau douce. Pour admettre cela, il faudrait donc de fortes preuves. Chez nous ils apparaissent au toit d'une veinette à faune type marine, au-dessus de ce niveau, dans la même roche. Peut-être ont-ils profité de circonstances spéciales qui ont provoqué la formation locale de deux niveaux de poudingue, pour faire leur apparition en eau un peu moins salée. Le fait est que, dans l'assise suivante, de Châtelet, on les voit prospérer. De nouveaux genres apparaissent. On les trouve en mélange, sur les mêmes joints de stratification que les lingules. Le fait a été nié. Je l'ai déjà cité (**149**, p. 47) et je l'ai observé bien des fois depuis lors. Je compte d'ailleurs consacrer au sujet spécial de ce paragraphe un travail à part, détaillé, avec preuves à l'appui. Je rappellerai seulement que j'ai trouvé même des *Productus* sur le même joint que des *Anthracomya*, tout à la base de l'assise de Châtelet (**142**, pl. VI, niveau 6). D'ailleurs, quand, dans un petit banc de roche homogène, des coquilles marines et des carbonicolidés ne se trouvent pas sur le même joint, rien n'autorise à croire que les conditions de milieu ont changé, puisque rien n'a changé dans la roche et que la sédimentation n'a subi aucun arrêt ni modification. Comme nous l'avons dit, durant toute l'assise de Châtelet, les alternances de niveaux sont continuelles, ainsi que les passages latéraux d'un type de niveau à un autre. Il eût été impossible, surtout latéralement, de passer, sans mélange profond, de l'état salé à l'état d'eau douce et vice versa. Ni les animaux marins, ni les carbonicolidés n'auraient résisté si des changements aussi profonds, des mélanges continuels s'étaient produits. Et plus tard des conditions purement marines pourront, dans le Houiller supérieur, régner accidentellement dans toute la cuvette houillère; les carbonicolidés en seront si peu affectés qu'ils viendront s'installer, tantôt avant, tantôt après, mais dans le même toit de la veine Petit-Buisson, avec sa faune marine si riche. De tout cela on peut conclure que les carbonicolidés étaient des animaux euryhalins.

Marins au début, ils ont pu, grâce à leur caractère, s'adapter progressivement à des conditions différentes, à des retours pen-

dulaires, à leurs conditions primitives et finalement peut-être à des conditions d'eau douce, sinon saumâtre. C'est ainsi que, dans d'autres bassins qui ne furent jamais marins, le bassin de la Sarre, par exemple, leur évolution a pu se faire complètement en eau douce. Mais s'il en est ainsi, nous pouvons donc considérer les cuvettes houillères comme des *Relikten-Seen*. Les cas de faunes marines transformées en faune d'eau douce par lent dessalement des milieux où elles vivaient sont maintenant si nombreux qu'on ne saurait plus les nier. Nous citerons surtout les lacs Tanganika, Baïkal et Aral.

On a voulu expliquer les caractères marins de la faune de ces lacs en disant que leurs conditions physiques : agitation et profondeur surtout, étaient si semblables à celles de la mer, que, par adaptation, les organismes devaient nécessairement acquérir des caractères marins. Si cette hypothèse a quelque fondement pour ces lacs, elle le perd quand on étudie la faune mixte des lacs de Suède ou la faune des lacs de Terre-Neuve, etc., où cette identité des conditions physiques n'existe plus. Je ne puis détailler ce sujet, mais, vu son importance, je renvoie à une bibliographie spéciale, que je donnerai, en annexe, des principaux travaux sur la transformation des faunes marines en faune lacustre (p. 270). Quant aux carbonicolidés, nous ajouterons qu'ils ont pu subir encore d'autres modifications au cours de leur évolution, car Wheelton Hind a observé, dans le *Millstone grit* du Lancashire, une plaque portant un bois flotté entouré de naïadites, comme si elles lui avaient été fixées par un byssus. Si à l'origine les naïadites ont été des mollusques à byssus, ils ont bientôt cessé de l'être. Girty, après une étude générale de la faune du Houiller (*Upper carboniferous*) en Amérique, par comparaison avec celles d'autres continents, arrive aux mêmes conclusions que moi sur la faune si souvent qualifiée d'eau douce. Il insiste sur le fait que, malgré son énorme épaisseur et son extension en surface, la faune du Houiller ne présente guère de modification marquée de bas en haut, ce qui n'est guère la caractéristique d'une faune continentale. Il a aussi remarqué les analogies des carbonicolidés avec certaines coquilles marines et leur association avec des faunes vraiment marines et avec les lingules (**61**).

§ 3. — *Habitat des Spirorbis et des entomostracés.*

Spirorbis. — Ce curieux annélide, si abondant dans le Houiller des deux continents, présente, dans son évolution, les mêmes

phénomènes que les mollusques précités. On le rencontre, dès le *Millstone grit*, fixé tantôt sur des coquilles marines, tantôt sur des plantes, et quand les carbonicolidés apparaissent, il s'y fixe pour, par après, faire de même sur les autres coquilles marines. Plus tard, cependant, il semble être devenu plus particulariste, car je ne crois pas qu'il ait été observé sur les coquilles des niveaux marins tout à fait supérieurs. C'est cependant à partir de ce moment que, dans certains bassins anglais, il pullule au point de former, à lui seul, des bancs de calcaire. Je puis me dispenser d'en dire davantage, car le sujet a été traité magistralement par M. Malaquin (**91**), qui a montré que les spirorbes sont des organismes euryhalins, d'abord habitant des eaux marines, puis, petit à petit, s'adaptant aux conditions de milieu où prospéraient les carbonicolidés. Leurs congénères modernes sont marins.

Entomostracés. — On peut en dire autant des entomostracés. Mais parmi ceux-ci, quelques-uns, spécialement ceux qui depuis longtemps habitaient la mer, *Beyrichia* par exemple, ne purent s'adapter aux eaux moins salées et disparurent avec les niveaux marins. D'autres, au contraire, spéciaux au Carboniférien, étaient euryhalins et s'adaptèrent aisément. Ce fut le cas pour *Carbonia*, dont Kirby et Jones ont fait l'histoire écologique (**82**). Ils montrent que, dès le début, *Carbonia* est très éclectique dans son habitat. Plus tard, il devient moins indifférent et fréquente uniquement les eaux douces. Ces auteurs nous donnent aussi des détails intéressants sur l'histoire des carbonicolidés en Ecosse. Comme le facies des *Calciferous sandstones* rappelle celui du Houiller, ces mollusques y ont fait une apparition hâtive (Dinantien). On les y trouve, comme dans le Houiller, tantôt seuls, tantôt mêlés à des lingules ou à beaucoup d'autres organismes marins. En Ecosse, sans doute à cause de l'allongement de la phase de transition qui commence dès le Dinantien inférieur, l'adaptation a été plus aisée et *Beyrichia* et *Leperditia*, notamment, ont pu subsister plus longtemps.

J'ajouterai qu'en Angleterre (Vale of Clwidd) *Spirorbis* apparaît dès le Dinantien, fixé sur des plantes (**75**).

§ 4. — *Animaux dans le charbon lui-même.*

La rencontre de fossiles animaux au beau milieu de la houille est évidemment un fait instructif sur les conditions de sa formation. Aussi nous citerons quelques cas de nature à nous éclairer sur ce point.

Le fait le plus curieux est cité par Conacher (**30**). Voici la composition, de haut en bas, de la veine Hurlet, la plus inférieure de l'Ecosse : Wulfords colliery, Cobbinshaw : calcaire marin : 4 pieds; schiste alunifère marin au sommet, saumâtre en bas : 3 à 4 pieds; charbon brillant : 4 pouces; terres : 2 pouces; calcaire marin noduleux foncé : 9 pouces; charbon : 4 pieds; argile réfractaire : 18 pouces; calcaire d'eau douce : 1 pied. Le calcaire intercalé forme une lentille de 10 pieds de long et, ainsi que les terres, renferme *Fenestella*, *Productus*, *Chonetes*, *Euphemus*, etc. Ce charbon, dans certains districts, renferme d'abondants débris d'oursins. Tout commentaire serait superflu.

Les trois faits suivants proviennent du Northumberland (**2**, pp. 69-70). La couche Scremerston est en trois lits de charbon séparés par une couche de grès à entomostracés et par une couche de sidérose à entomostracés et gastropodes d'eau douce. La veine Fawcet (Etal) présente des intercalations schisteuses avec *Fenestella*, crinoïdes, *Spirorbis* et naïadites (p. 71).

Les veines du Limestone group ont souvent au toit du calcaire à crinoïdes et il y a même communément des intercalations de schiste et de calcaire à crinoïdes dans le charbon. L'auteur déclare que le charbon, dans ce cas, serait, en partie du moins, transporté. Pourquoi pas le tout?

Stobbs (**160**) rapporte qu'en deux points différents il a trouvé dans une couche de *cannel coal* des lingules qui se trouvent ainsi dans le toit, avec un banc à *Myalina compressa* au-dessus. J'ai aussi trouvé des lingules dans un lit de *pseudo-cannel coal* (**142**, pl. CXLIX, n° 1). Dans une veinette de l'assise d'Andenne j'ai trouvé un nodule de calcaire avec crinoïdes, *Chonetes*, *Euomphalus*, gastropodes marins) (**142**, pl. LXXXV, n° 8).

Dawson a signalé des veinettes de la coupe des *S. Joggins* (**34**, p. 27), dont le charbon renfermait des débris de poissons. Ceux-ci n'indiquent pas que le niveau fût marin, mais comme les poissons du Houiller ne fréquentaient pas les marais continentaux, leur présence nous indique que le charbon devait se déposer sous une eau assez profonde pour attirer les poissons.

CHAPITRE IX.

La végétation houillère.

On peut constater aisément, par la lecture des nombreux travaux consacrés à la végétation houillère, le désaccord profond qui existe entre les spécialistes au sujet des questions les plus

capitales de la physiologie et de la classification des plantes houillères. Il semblerait cependant que la paléobotanique soit en bien meilleure situation que la paléozoologie, car, alors que les animaux ne nous ont guère laissé que la partie minérale de leur être, les végétaux nous donnent, dans des nodules calcareux ou siliceux, leur structure organique intime, au moins aussi bien que les végétaux actuels. Ce désaccord provient, pensons-nous, de ce que certains savants ont voulu trop astreindre les végétaux anciens aux lois qui régissent les plantes d'aujourd'hui. Il y a un siècle, cela était admissible, mais qui pourrait démontrer, depuis que nous connaissons l'influence, sur les réactions biologiques, des rayons ultra-violets, le rôle, dans ces réactions, des bactéries, des minimes doses de vitamines, de zymases, etc., que tout cela n'a pas varié au cours de l'énorme laps de temps qui nous sépare du Houiller? Aussi, dans les lignes qui suivront, nous ne hasarderons des interprétations, des hypothèses qu'à titre purement provisoire. Nous nous attacherons surtout à l'exposé des faits, que nous exposerons de la même façon que pour les autres données de notre problème.

1re Observation.

Un fait important et très généralement admis est la grande uniformité de la végétation houillère en surface et dans le temps. Ce fait a été mis en lumière par M. Stirrup (**159**); aussi je puis me dispenser de m'étendre. En surface, la présence, dans le monde entier, d'une flore à caractère tropical rend fantaisiste, dans l'état de nos connaissances, toute hypothèse de glaces flottant dans les bassins en formation. Dans le temps, l'évolution insensible et lente de la flore indique la grande fixité et la régularité d'un climat très général.

Pour une même époque, la flore présente également une ressemblance frappante, quel que soit le type de bassin où on l'étudie. Cette ressemblance est telle qu'elle permet de tirer la conclusion capitale que, si les conditions de formation des dépôts charbonneux ont pu varier, les conditions d'existence des végétaux étaient universellement les mêmes.

2e Observation.

On n'a jamais signalé l'existence de flores complètement distinctes comme habitat, dont, par exemple, l'une aurait vécu sur les continents, complètement aérienne, et l'autre aqueuse ou subaqueuse. Or, il est certain qu'il y avait, à l'époque houillère, d'importants continents, les boucliers primitifs renforcés et accrus par les plissements antéhouillers. Dans les conditions

climatériques éminemment favorables à la vie végétale qui régnaient alors, on ne peut supposer un instant que ces continents ne nourrissaient aucune végétation et étaient complètement arides. Où sont les restes de cette flore? Comme on ne peut admettre qu'elle ait complètement disparu sans laisser de traces, c'est que les restes en ont été mélangés à la flore continentale aqueuse ou subaqueuse. Qu'un tel mélange soit possible, c'est ce que le flottage, à l'heure actuelle, nous montre, dans tous les climats du monde et sur une échelle imposante. Le raisonnement seul confirme donc l'opinion de ceux qui, depuis longtemps, ont considéré la flore houillère comme un mélange de flores provenant de régions botaniques diverses: flore de marais, flore continentale aérienne, voire flore sèche et de montagne, point que nous étudierons plus loin, en fait. Quelques auteurs ont même cru pouvoir émettre l'idée qu'il y a eu des végétaux vivant si loin des endroits où se formait le dépôt de houille, que seules leurs parties les plus légères ou les plus résistantes, leurs semences, ont pu arriver dans les bassins houillers. Zeiller, qui a émis cette hypothèse (**177**), la fonde sur le fait que l'on connaît beaucoup plus de graines, spores ou semences que de plantes. Il donne aussi d'autres explications de ce fait, mais beaucoup moins plausibles.

3e Observation.

L'état dans lequel la végétation houillère nous a été conservée n'est guère favorable à l'idée que cette végétation serait en place et aurait donc eu le maximum de chances de résister aux causes de disparition. Nous allons exposer rapidement l'état des restes de la végétation dans les trois constituants du terrain houiller : *les veines*. Ce qu'il y a à en dire sera mieux à sa place au chapitre de la houillification; *les murs*. Nous en avons dit assez à leur sujet, pour savoir que ces murs renferment surtout, à l'état haché, les débris des parties souterraines d'une très petite partie des types d'arbres houillers; *les toits et stampes stériles qui leur font suite*. Quoique les études de Grand'Eury aient surtout porté sur des bassins d'un autre type que ceux que j'étudie, je ne saurais dire mieux ou plus complètement que lui (**64**, pp. 5 à 33) tout ce que l'on peut voir quand on étudie minutieusement l'état dans lequel se présentent les végétaux dans ces toits et stampes. Je n'ajouterai qu'un mot, c'est que jamais dans le Houiller on n'a trouvé une plante complète, même petite. Cela en dit long. Je fais aussi miennes la plupart des déductions qu'il tire de cet état (**64**, pp. 35 à 40). Je fais des réserves sur tout ce qu'il dit du transport court et rapide

des végétaux de leur lieu natal au bassin de dépôt. Si ce qu'il en dit peut s'appliquer aux bassins limniques, il en est tout autrement dans nos bassins. L'idée mère et générale de son exposé remonte d'ailleurs au début des études sur le Houiller, car on la retrouve dans les écrits de Buffon, de Jussieu, de Lindley. C'est encore, de nos jours, l'opinion presque unanime. Il y a en Belgique deux opinions dissidentes, celles de MM. Deltenre et A. Renier. Nous avons déjà précédemment rencontré l'hypothèse de Deltenre (p. 217); nous allons examiner l'hypothèse émise par M. Renier de la subautochtonie des végétaux du toit des veines (**115**, t. XX, 1919, p. 458). Pour lui, la flore du toit aurait été enfouie presque sur place, même, dans une variante, à l'endroit de sa croissance. Il base son opinion sur le fait que *les divers organes aériens d'une même espèce* se retrouvent les uns à côté des autres et que la putréfaction a été médiocre. M. Renier n'a pas toujours professé cette même opinion, car en 1906 il a fait un exposé tout à fait contraire de l'état de la flore du toit, dont il opposait l'état désintégré à l'état complet des végétaux du mur (**111**, pp. 266 et suiv.). La subautochtonie et encore moins l'autochtonie des plantes du toit sont inadmissibles. Rappelons encore une fois, car tant d'autochtonistes l'oublient, qu'une plante supérieure qui n'est ni un parasite ni un épiphyte ne se compose pas uniquement de parties aériennes. Il lui faut, pour vivre, un appareil souterrain considérable. Tant qu'on ne nous aura pas montré où se trouve l'appareil souterrain des plantes de toit, leur sol de végétation, leur mur, l'autochtonie de ces plantes restera une supposition sans fondement. Il faudrait qu'on nous montrât un toit passant latéralement et à très près du mur, chose rarissime, tandis qu'il y a d'énormes étendues de toits remplis uniquement de débris dilacérés de parties aériennes de plantes dont on chercherait vainement le sol de végétation. Est-ce que la théorie du flottage de ces plantes dilacérées est chose si difficile à admettre quand on voit le passage insensible de ces plantes dilacérées à des débris de plus en plus infimes, aux végétaux hachés menu et puis à la fine bouillie végétale dont les stampes stériles, continuation génétique des toits, nous offrent une infinité d'exemples.

Au sujet de la question de savoir si les plantes du toit sont oui ou non presque entières et subautochtones, nous n'en sommes plus réduits à ces affirmations qui ont fait si longtemps la fortune de l'hypothèse autochtone. M. Davies (**33**) nous a donné, dans un travail gigantesque, une source de renseignements décisifs. Après avoir étudié, durant vingt-cinq ans, les toits de dix

veines du Pays de Galles et déterminé 45,000 échantillons, il a pu nous donner un tableau encore inégalé des flores houillères. Que disent les chiffres qu'il a réunis? Alors que les calamites sont représentés, dans certaines veines, par des proportions énormes de troncs, on ne trouve, dans les mêmes veines, qu'une infime proportion de leurs feuilles, branches ou fruits, alors que ce devrait être le contraire, puisque les calamites n'ont qu'un tronc mais ont des quantités de feuilles. Pour les cordaïtes, le genre de loin dominant dans les toits de ce bassin, c'est le contraire. Pour d'innombrables feuilles il n'y a presque pas ou pas de troncs. Aussi l'auteur de ce travail tire de sa statistique la conclusion que la flore a vécu en dehors de la région où l'on retrouve ses restes, et cela dans des conditions diverses d'habitat pour lesquelles il s'en réfère aux opinions de trois paléobotanistes anglais dont il cite les opinions résumées sur la question de l'écologie des principales plantes de cette flore. L'auteur fait encore une remarque importante qu'ont pu contrôler les collectionneurs de plantes houillères, c'est que celles-ci sont surtout abondantes, non pas au toit immédiat des couches, mais plus haut, à partir de 1 mètre et plus. Elles sont donc là à un moment où le toit avait eu le temps de submerger complètement la forêt houillère et l'on ne peut donc pas dire que les plantes du toit proviennent de la couche sous-jacente. Tout le monde admet d'ailleurs qu'à cette hauteur le toit est de formation sédimentaire mécanique ordinaire et qu'il ne saurait y avoir de végétation autochtone ni subautochtone. La question présente une importance capitale, car si la flore du toit provient, non du prétendu marais de la veine, mais a été transportée des continents voisins, comme cette flore présente, en commun avec la flore des veines, beaucoup d'espèces importantes (**76**), on peut en conclure que cette flore des veines est aussi un mélange d'espèces transportées. (Voir ce que je dis de cette identité, à propos de la flore des *coal-balls*, pp. 212 et 218, sur les plantes reconnaissables dans les veines.)

4e Observation.

Pour ceux qui n'ont vu que la végétation clairsemée, policée, ratissée de la forêt civilisée des régions tempérées, la grande forêt tropicale actuelle est déjà un sujet d'admiration que l'on voit s'épancher dans les écrits des savants qui les ont explorées : de Humboldt, Liais, Lucien Biart, Georges Catlin, etc. Que serait-ce si nous avions pu voir, je ne dirai pas la beauté, mais la luxuriance de la forêt houillère! Je cède la plume, pour

en donner une idée moins pâle, au savant autorisé qu'était le marquis de Saporta (**44**). Je renvoie aux superbes vues des forêts malaises que nous devons au voyage du Prince Léopold de Belgique (**167**).

Ce préambule est nécessaire à qui veut se faire une idée du cube formidable de matières végétales qui fut enfoui dans l'écorce terrestre, à l'époque houillère. Nous ne citerons pas les chiffres des réserves de charbon contenues dans les bassins houillers. Ce n'est qu'une faible partie de ce que la végétation a produit alors, car le total ne comprend naturellement rien de ce qu'une érosion multiséculaire a enlevé aux bassins, ni rien du charbon disséminé dans les stampes stériles. Si l'on tient compte de l'épaisseur de ces stampes, qui compense leur moindre teneur en carbone, on doit se dire qu'elles renferment presque autant de charbon que les veines.

5e Observation.

La richesse de la végétation houillère était en partie due à une rapidité de croissance qui serait bien faite pour nous surprendre, nous pour qui la lenteur de croissance de nos arbres est en quelque sorte proverbiale. Déjà certaines plantes des tropiques montrent, à cet égard, des différences surprenantes avec les nôtres. On a souvent cité le cas des bambous de Java, que l'on voit littéralement pousser à vue d'œil. On a établi aussi, par des chiffres, que la végétation tropicale pouvait, dans un laps de temps donné, produire une quantité de matière végétale sèche bien des fois supérieure à celle que les plantes des régions tempérées peuvent produire. Mais, comme on l'a dit, cette rapidité de croissance, cette course vers la lumière qui force les arbres des tropiques, serrés les uns contre les autres, à s'allonger démesurément, pour arriver les premiers, tout cela a comme conséquence la formation d'une texture lâche et molle où le tissu médulaire et lacuneux occupe la plus grande partie de la plante, en ne formant que juste le nécessaire d'écorce résistante pour maintenir l'arbre vertical. Aussi ces forêts devaient offrir une proie facile aux vents et aux cyclones qui sont en quelque sorte le complément obligé d'un climat tropical ordinairement lourd, humide et calme. Les sols sur lesquels croissaient ces forêts devaient être ameublis jusqu'à de grandes profondeurs par l'abondance de pluies chaudes et très acides, pour avoir traversé une atmosphère très riche en acide carbonique et des litières tourbeuses épaisses couvrant le sol des forêts, litières où se produisait une fermentation active. L'exemple classique des

volumes considérables d'acide carbonique rencontrés par la galerie filtrante de la distribution d'eau de Charleroi nous montre ce qui se produit dans les conditions, cependant si fortement réduites, de l'époque actuelle. En effet, cette galerie était simplement creusée dans des grès dévoniens fissurés, sous le plateau forestier de Nalines. Lorsque le cyclone, accompagné comme d'habitude de pluies diluviennes, avait abattu la forêt protégeant le sol, celui-ci, à son tour, devait céder à l'érosion des eaux sauvages. Il fallait longtemps avant que le sol dénudé pût reconstituer une nouvelle et puissante forêt, et ainsi s'explique l'alternance de couches de houille et de stampes stériles, formées au détriment de sols nus ou peu revêtus de végétation.

Pour plus de détails sur les conditions de croissance des végétaux et sur la rapidité de cette croissance, je renvoie aux travaux de Dawson (**36**, p. 142) et de Williamson (**175**). Je rappellerai aussi les curieuses observations faites par Charnay (**42**, p. 323) sur la croissance rapide des arbres du Yucatan, contrée aux conditions climatériques se rapprochant beaucoup de celles du Houiller. On attribue généralement une durée d'un an pour la formation d'une zone d'accroissement visible sur la section d'un tronc d'arbre. D'après cela, on avait donné aux arbres croissant dans les ruines de Palenqué et autres, 17 à 20 siècles d'âge. Mais Charnay, ayant coupé des arbrisseaux de 18 mois, leur trouva 18 zones, et des arbres de 22 ans, de 2 pieds de diamètres, en possédaient 230. Les partisans à outrance de la théorie des causes actuelles ont même souvent le tort de vouloir étendre à la terre entière les conclusions des observations qu'ils ont faites dans la région tempérée où ils opèrent.

6e Observation.

Nous en venons maintenant au point le plus important de ce chapitre, c'est-à-dire aux conditions d'habitat des plantes houillères. Comme nous l'avons dit au début, il est bien curieux de voir des spécialistes éminents différer complètement d'opinion sur un sujet aussi capital. Ainsi Dawson considère la flore houillère comme remarquablement dépourvue de plantes réellement aquatiques (**35**, p. 242). En quoi il se sépara de la plupart des botanistes.

De l'examen des opinions et des faits cités sur cette question, voici ce que je puis conclure : la plus grande partie de la flore houillère, comprennent notamment les grands arbres, les équisétacées et les lycopodiacées, présente des dispositions anatomiques et des adaptations telles qu'on ne saurait leur refuser un

habitat en milieu très humide, si pas tout à fait subaqueux. Il en est de même des ptéridospermes, mais déjà, parmi ceux-ci, il y a des traces de transition à des milieux moins humides. *Sphenophyllum* et les vraies fougères sont aussi très humides. Par contre, les ptéridospermes à pinnules très réduites, tels que *Pecopteris*, les plantes au feuillage très fin, délié : *Palmatopteris*, *Diplotmema*, montrent des caractères beaucoup plus terrestres. Avec Williamson (**174**) et autres je pense que les gymnospermes étaient des plantes de montagne, comme les *Sphenopteris*. La discussion concernant ces conclusions porte sur la question de savoir si, parmi les plantes houillères, il y a des types xérophytes, l'existence de très nombreux types hydrophytes n'étant niée par presque personne. Quant à la présence de dispositifs pour halophytes, il ne saurait en être question, quoique certains auteurs aient considéré les dispositifs xérophytes plutôt comme halophytes, à cause de la grande difficulté qu'il y a souvent de distinguer un cas de l'autre. Mais, comme l'a déjà fait observer D. White (**172**, p. 469), le fait que l'on retrouve les mêmes dispositifs dans la flore des bassins d'eau douce et dans celle des bassins côtiers montre qu'il ne s'agit pas de dispositifs halophytiques. Nous l'avons dit, dans la première observation, on trouve la même flore dans les petits bassins limniques (Centre de la France), dans des bassins encore lacustres, mais beaucoup plus vastes (Sarre), dans les bassins paraliques, etc. Jamais personne n'a supposé que ces petits bassins fussent salés, et d'ailleurs la flore qu'on y trouve étant allochtone, comme l'a démontré M. Fayol, même si les lacs étaient salés, cela ne prouverait pas encore que les sols continentaux voisins l'étaient. L'observation vaut aussi pour les bassins paraliques. Reste donc le problème du xérophytisme. Kubart (**87**) avance que les végétaux contenus dans les *coal-balls* montrent des dispositifs qu'il qualifie d'haloxérophytes et en conséquence admet que ces végétaux vivaient dans des eaux salées. Laissant de côté l'invraisemblance de plantes vivant dans les conditions de milieu indiquées par la faune du toit des veines à *coal-balls*, nous pouvons exclure l'halophytisme d'après ce que nous venons de dire. Les dispositifs seraient donc uniquement dirigés contre la sécheresse. Une discussion très vive a eu lieu à la Société géologique de Londres, à la suite d'un travail où Henslow avait soutenu la présence de caractères xérophytiques dans les plantes houillères (**74**). Cette opinion, qui allait si fortement à l'encontre des idées reçues, devait susciter des objections, mais elles ne paraissent pas avoir réussi à ébranler la thèse de l'auteur. Le

plus souvent, d'ailleurs, on attribuait ces dispositifs à l'halophytisme, chose impossible, nous le savons. D. White admet aussi la présence de dispositifs qu'il appelle pseudoxérophytiques, mais vers la fin de la période houillère seulement (Stéphanien) (**172**, p. 470).

Lorsqu'on voit tant de *Sphenopteris* couverts de poils, on ne saurait attribuer cette adaptation à l'halophytisme, où il est si rare, tandis que c'est un des dispositifs xérophytiques les plus efficaces et les plus répandus. Les gymnospermes, comme nous l'avons dit plus haut, seraient des plantes de montagne, et Carruthers (**27**) et Seward (**127**) sont de l'avis de Williamson sur ce sujet.

Quant aux hydrophytes, leur habitat n'est nullement une preuve qu'ils ont vécu au lieu où on les trouve fossilisés. En effet, avec les conditions climatériques réalisées durant la plus grande partie du Houiller, il est éminemment probable que les fonds de vallées et les plaines basses devaient être couverts de swamps et de marais de tous genres. Et cette végétation hydrophyte pouvait s'étendre sur les reliefs peu accidentés et sur la base des flancs des montagnes, à la faveur de l'humidité de l'air et du grand pouvoir rétenteur d'eau que possède la litière tourbeuse qui, à la longue, s'amasse dans toutes les forêts C'est de ces sites divers, montagnes, climats secs, pentes des reliefs, marais et swamps, que les cyclones ont enlevé les plantes et les ont transportées dans les bassins en voie de formation.

La question du xérophytisme des végétaux houillers a été mise magistralement au point par M. P. Bertrand (**12**, p. 118). Il a montré de façon absolument décisive que la flore houillère est un mélange d'espèces xérophytes et hydrophytes et il a tiré de ce fait des conséquences importantes pour l'étude du climat de la période houillère, conclusions sur lesquelles nous aurons à revenir. On trouve aussi dans ce travail des considérations sur l'écologie des plantes houillères, que la compétence de l'auteur rend particulièrement intéressantes.

Je vois encore une preuve de la variété d'habitat des plantes houillères, surtout des plus importantes, les lycopodiacées. C'est le fait que j'ai déjà cité (p. 72), que ces arbres ont tantôt des racines pivotantes, tantôt des racines étalées à plat, comme cela se voit dans les troncs-debout. Si ces arbres avaient grandi uniquement dans le mur des veines, comme ces murs étaient alors, tous non métamorphiques et meubles, rien n'empêchait leurs racines stigmaroïdes de s'y enfoncer, car, contrairement à ce que l'on a dit, ces racines pouvaient pénétrer dans n'importe

quel sol meuble. Donc si des racines se sont étalées horizontalement, parfois à dix mètres de distance, c'est que l'arbre croissait sur un sol rocheux impénétrable et de plus qu'il n'était pas dans la forêt dense d'un swamp où ses racines n'auraient pu s'étendre aussi loin sans rencontrer la compétition de ses voisins. C'était un solitaire juché sur la pente rocheuse d'une montagne. On dira peut-être que l'arbre a étalé ses racines parce qu'elles n'ont pas voulu pénétrer dans la veine sous-jacente. Que devient alors la théorie des arbres enracinés dans la couche? La preuve de l'inanité de cette explication est aisée à donner. Les plus belles souches à racines étalées sont celles précitées de Wadsley et elles sont en pleine stampe stérile, sans trace de charbon sous elles. La présence, dans le marais houiller, de plantes ayant vécu dans des milieux si divers ne peut s'expliquer que comme une réunion artificielle, par voie de transport, et un marais est un milieu qui ne peut se prêter à pareil mélange. Ce n'était donc pas un marais ni un swamp, mais une cuvette à profondeur d'eau suffisante pour permettre ce mélange intime.

7e Observation.

Nous allons dire quelques mots de la forêt houillère, dont le nom revient si souvent sous la plume des autochtonistes. C'est assurément une forêt extraordinaire, dont il serait difficile de trouver l'équivalent dans la nature actuelle, comme nous allons le voir, d'après ses caractères. Il y a certes diverses forêts. Il y a celle du botaniste, du sylviculteur, de l'artiste, du littérateur, etc. Personne ne reprochera à un artiste ou à un littérateur quelques écarts que le sylviculteur ne pardonnerait pas, pourvu qu'il ait fait cela avec art. Mais le botaniste est encore plus exigeant, car, en science, un mot a son sens bien précis, et le changer complètement est aussi grave que de prendre, en arithmétique, un chiffre pour un autre. Or, que voyons-nous : *a*) on cite, et souvent, des forêts de cordaïtes. Or, cette forêt ne se compose que de feuilles, et les feuilles raides et sèches de ces arbres étaient sans doute solidement fixées à leur support, car il est bien rare de les trouver entières. La pointe manque et plus souvent encore la base. Les troncs de cet arbre (*Artisia*) sont rares aussi et jamais on n'a trouvé les feuilles attachées. Le mot « forêt » ne saurait être plus mal choisi. Il fait image, c'est vrai, mais il est d'autant plus dangereux, car il induira en erreur les non-initiés; *b*) l'expression de « forêt » usitée pour désigner la végétation étalée dans un toit, est aussi impropre que d'appeler prairie ou jardin l'herbier d'un botaniste. Les forêts de sigil-

laires, de calamites, etc., sont formées de troncs couchés, ce qui ne serait pas encore bien grave, mais ces troncs ne possèdent ni racines, ni branches, ni feuilles; *c*) si l'on voit quelques troncs-debout, vite on crie à la forêt fossile, et quelle forêt! La forêt tropicale! *d*) la forêt serait un mélange bizarre de plantes des milieux les plus divers; *e*) tous les arbres d'une forêt, avec un ensemble remarquable, auraient glissé de façon à laisser leur souches quelque part, et jamais on n'aurait vu ce quelque part; *f*) quant aux immenses forêts qui auraient formé toutes les veines de charbon, tous les troncs en seraient disparus sans que jamais ni un *coal-ball* complaisant, ni un sable ou argile fluide n'en ait pétrifié l'intérieur et ne nous l'ait conservé. Seuls ses organes souterrains éparpillés nous seraient parvenus reconnaissables.

CHAPITRE X.

Climat de l'époque houillère.

La formation des gisements houillers a été sous une telle dépendance des conditions climatériques que nous ne saurions laisser de côté le troublant problème des climats des époques anciennes. Malheureusement, on ne le sait que trop, ce problème est loin d'être résolu à la satisfaction générale. Même en s'en tenant strictement à la période de la grande formation houillère, c'est-à-dire la période permo-carbonifère, on sait qu'il y a eu des climats allant d'une extrémité à l'autre de la gamme, et partant, le problème s'y présente dans toute son ampleur. Heureusement, il a déjà été traité de main de maître par divers auteurs, notamment par T. Chamberlin et P. Bertrand, et nous pourrons nous contenter de puiser dans leurs écrits et dans la bibliographie spéciale du sujet, que nous donnons en annexe bibliographique B, ce qui peut être utile pour notre sujet, en renvoyant aux auteurs pour les détails et les discussions.

La première chose à faire, c'est d'exposer quel fut le climat de la période permo-carbonifère et ses variations. Nous renvoyons, pour l'exposé détaillé, aux travaux de D. White (**232-233**) et de P. Bertrand (**200**). Le fait capital et généralement admis c'est l'existence d'un climat uniformément chaud et humide universel, et le fait que c'est au Houiller moyen que la flore atteignit son maximum de luxuriance et que ce fut donc à ce moment que l'acide carbonique de l'air joua son rôle le plus actif. Puis, assez rapidement, le climat subit une telle transformation que l'on vit, au début du Permien, une période glaciaire plus importante que celle de l'époque quaternaire. En effet, non seulement

on vit les glaces s'étendre, dans l'hémisphère Sud, jusqu'au tropique du Capricorne, mais des glaciers existaient aussi dans l'hémisphère boréal. S'ils sont moins connus et même niés, c'est que les circonstances propres à leur conservation ont été infiniment moins favorables que dans l'hémisphère Sud, où la glace se présentait sous la forme continentale (*inlandsis*); tandis qu'au Nord elle se localisait sous le type alpin, sur les sommets des chaînes hercyniennes, que de nombreuses transgressions marines ont quasiment nivelées depuis. Déjà dès le Stéphanien des indices nombreux de saisons, de zones climatériques et de sécheresse, voire de déserts, avaient commencé à apparaître. Ces conditions désertiques, manifestées par la présence de sédiments rouges empruntés à ces déserts, s'intensifièrent durant le Permien supérieur et amenèrent la formation des gisements salins si importants de cette période. Tels sont les grands traits des phénomènes climatériques dont il nous faut maintenant rechercher les causes.

1re Observation.

Il est bon de rappeler que les climats terrestres sont sous la dépendance de trois facteurs : les facteurs astronomiques, géographiques et atmosphériques. Avec la plupart des auteurs, je tiens pour certain que nous ne pouvons faire appel aux premiers pour expliquer les variations bien connues des climats, dans le temps et dans l'espace. Les influences que l'on invoque sont, les unes (déplacements des pôles) purement imaginaires, tandis que les autres sont, ou incapables de produire les phénomènes constatés ou se heurtent à des objections graves. Nous laisserons donc ce facteur de côté et nous estimons que c'est aux changements dans les deux autres qu'il convient, dans l'état actuel de nos connaissances, d'attribuer les faits signalés. Parmi ces deux derniers, celui qui a l'influence la plus générale est évidemment le facteur atmosphérique, et c'est donc par lui que nous commencerons.

2e Observation.

L'atmosphère agit : *a*) par sa composition chimique; *b*) par ses météores.

A) *Composition de l'atmosphère.* — Tyndall, le premier, a montré que la fonction régularisatrice bien connue de l'atmosphère, sa diathermanéité, est due en grande partie à la présence de son constituant le moins important, l'anhydride carbonique. Mais c'est à S. Arrhénius que revient l'honneur d'avoir

mis le fait hors de doute et de l'avoir précisé. Grâce à lui, nous savons que de faibles changements dans la teneur de l'air, au point de vue qui nous intéresse dans les climats, la température moyenne, peuvent avoir des conséquences extrêmement importantes. Le fait physico-chimique semble indiscutable; reste à voir les difficultés qui attendent son application à l'étude des phénomènes naturels.

La première difficulté est de savoir s'il y a eu, durant le Permo-Carbonifère, une atmosphère assez riche en acide carbonique pour changer notablement sa composition. La réponse ne saurait être douteuse. Tout le carbone actuellement contenu dans les gisements houillers à l'état de combustible et à l'état de matière colorant ou imprégnant les roches stériles provient de végétaux qui eux-mêmes ne pouvaient l'avoir trouvé ailleurs que dans l'atmosphère. Je ne citerai aucun des chiffres qui ont été donnés pour représenter la masse de ce carbone. Ils ne tiennent généralement aucun compte du carbone disséminé dans les roches stériles et dans les veinettes, et d'ailleurs, même en les réduisant fortement, ils impliquent une atmosphère beaucoup plus riche en acide carbonique que ne l'exigent les calculs d'Arrhénius. Diverses objections ont été élevées contre l'hypothèse de pareille atmosphère. La première porte sur l'origine de cette masse de carbone. Il me semble qu'il ne peut guère y avoir de doute à ce sujet. Le carbone, corps éminemment volatil, même à faible température, a dû faire partie de l'atmosphère terrestre dès le début. Les roches éruptives, contenant des proportions notables de ce corps, il se pourrait que l'acide carbonique fût resté occlus dans la masse incandescente du noyau; mais la question se posera toujours de savoir si cette portion ne provient pas en définitive de l'atmosphère. La teneur de l'atmosphère primordiale a dû aller sans cesse en diminuant, par suite de la désagrégation des roches cristallines avec formation de carbonates alcalins et alcalino-terreux.

Chamberlin a parfaitement étudié et chiffré l'importance de ce facteur.

Sterry Hunt, pour expliquer les énormes réserves de carbone dont témoignent les gisements houillers, a préféré faire appel à des apports cosmiques.

Mais Chamberlin a montré que l'espace cosmique est plutôt une cause d'appauvrissement pour notre atmosphère, sans compter que cette hypothèse se heurte à d'autres objections non moins graves.

Partant de ces prémisses, j'estime que la richesse en acide

carbonique de l'air va continuellement en diminuant, par fixation dans des combinaisons dont une partie de plus en plus considérable reste fixe, et c'est ce qui explique que la formation des gisements houillers va en décroissant au cours des temps. Mais la portion de carbone susceptible de devenir libre et disponible peut varier beaucoup, sous l'influence de divers facteurs dont le mécanisme a été admirablement étudié par Chamberlin. Citons d'abord les causes d'appauvrissement de l'atmosphère en CO^2. Il y a en premier lieu le phénomène de la désagrégation des silicates anhydres des roches éruptives par les agents externes, avec production de bicarbonates solubles. Ce phénomène est au maximum quand les phénomènes internes ont augmenté les surfaces continentales et accentué leur relief par la formation des chaînes de montagne, multipliant ainsi les surfaces d'attaque. Vient ensuite l'action des êtres vivants, des végétaux surtout, qui, après leur mort, ont leurs restes enfouis dans l'écorce terrestre et soustraits, sous forme d'hydrocarbures, à la décomposition qui aurait pu reconstituer le CO^2.

Comme causes d'enrichissement de l'atmosphère en CO^2, il y a la précipitation, dans les eaux salées ou douces, des bicarbonates solubles, sous forme de carbonate, libérant ainsi une molécule de CO^2. Ce phénomène est surexcité par les grandes transgressions marines qui, en étendant le domaine des mers peu profondes, facilitent la vie des animaux à squelette calcaire et les phénomènes de concentration et d'évaporation des eaux (**201**). Enfin, il y a les grandes éruptions volcaniques, dont Frech (**207**) a montré le rôle surtout important durant l'ère primaire, et particulièrement durant le Carbonifère dinantien. Ces éruptions, dont les effets se font encore sentir longtemps après la mort des volcans, jusque dans la phase des moffettes et des sources gazeuses froides, ne sont, je pense, que la remise en circulation de gaz carbonique immobilisé dans des combinaisons incluses dans les couches profondes ou superficielles de l'écorce. Le jeu de ces quatre agents, opérant, tantôt l'un contre l'autre, tantôt de concert, peut, par leur action ou leur inactivité, produire des effets variés et, comme l'ont montré Chamberlin et d'autres, ils sont bien capables d'expliquer les variations climatériques les plus accentuées observées au cours des temps géologiques.

Mais la nature dispose encore d'autres agents dont elle peut ajouter l'action ou l'opposer à celle des quatre agents précités. Ce sont :

B) *Les météores.* — Chamberlin a voulu voir dans ces météo-

res, vents, courants marins et atmosphériques, les agents actifs des variations de climat (**202**, **203**). Il a montré par conséquent l'importance de leur rôle d'après des exemples tirés de la Nature actuelle. Mais je pense que le terme de comparaison est mal choisi et l'a induit à attribuer trop d'importance, à l'époque houillère, à ces météores. Il saute aux yeux que dans un climat universellement uniforme, les météores ne sauraient avoir la même importance qu'à une époque de climats différenciés comme l'époque quaternaire. Ces agents n'ont pu intervenir que pour aider les agents précités ou les contrecarrer.

3e Observation.

Aux grands facteurs précités, il faut ajouter les facteurs géographiques ou locaux. Ceux-ci sont capables d'introduire, au milieu de grandes zones climatériques, des exceptions locales dues surtout à l'altitude. Ce facteur, si énergique à l'heure actuelle, devait l'être encore plus à une époque où la présence d'un gaz dense : CO^2, susceptible donc de s'amasser dans les couches basses de l'atmosphère, devait surexciter le rôle diathermane de l'air et en différencier les effets. Il y a ensuite le rôle des grands reliefs qui, par leur barrage, leur orientation, leur convergence, peuvent modifier considérablement des climats très voisins, etc. Enfin, il y a le rôle des grands courants marins dont, pour les mêmes raisons que pour les météores, le rôle a dû être bien plus réduit que de nos jours.

4e Observation.

Si nous tenons compte du rôle et de l'importance des agents précités, nous pouvons, pour l'époque permo-carbonifère, en déduire les conséquences suivantes : les maigres végétations terrestres du Dévonien n'avaient pu épuiser les réserves d'acide carbonique dont l'atmosphère s'était enrichie par les éruptions volcaniques et les abondants dépôts calcaires, quand se produisirent de nouvelles éruptions et un des plus importants dépôts de calcaire de l'écorce terrestre, celui du Dinantien. M. Chamberlin a montré (**201**, p. 617) que le dépôt des calcaires ordoviciens a pu, à lui seul, libérer soixante fois plus d'acide carbonique que n'en contient aujourd'hui l'atmosphère. On conçoit donc qu'au début de la période houillère tout avait concouru pour accumuler dans l'air une réserve de CO^2 dont on n'a jamais plus vu d'équivalent.

5e Observation.

Ces idées sont combattues par les chimistes qui, à la suite de Schloesing et d'autres, prétendent que la teneur en CO^2 de l'air n'a jamais dû varier dans de pareilles limites, parce que l'océan a toujours agi comme régulateur en absorbant et en fixant les excédents de gaz au fur et à mesure de sa libération. Tolman (**229**), dans une étude très serrée, a fait justice de cette objection, contre laquelle il y a d'ailleurs un fait indéniable à opposer, c'est que les énormes masses de carbone d'origine végétale dont témoignent les gisements houillers n'ont pu être extraites qu'à l'état de gaz libre dans l'atmosphère. L'époque houillère correspond d'ailleurs, au moment de son point culminant surtout, à une des phases d'extension minimum des océans, comme en témoigne la rareté du facies marin (Ouralien) de cette période. Les mers intérieures et peu profondes où se déposait la houille devaient être saturées d'acide carbonique provenant des fermentations qui s'y produisaient et il en était peut-être de même des océans voisins. Les chimistes ne nous ont jamais montré les formations chimiques d'âge houiller qui devraient justifier ce rôle fixateur des océans et ils ont perdu de vue qu'il y a un abîme entre les expériences de laboratoire, où n'interviennent qu'un très petit nombre des multiples facteurs que la Nature emploie dans ses laboratoires.

6e Observation.

Les biologistes ont aussi repoussé les hypothèses atmosphériques que nous avons développées, prétendant que de pareilles teneurs en CO^2 dans l'air auraient rendu celui-ci complètement irrespirable pour les êtres à respiration aérienne. A cela on a déjà répondu que précisément la vie aérienne n'est apparue et n'a pu se développer qu'après un fort épuisement de cette teneur par la formation des plus importants gisements houillers.

On peut aussi ajouter que l'objection biologique, en prétendant se baser uniquement sur les conditions de respiration actuelle, veut limiter le pouvoir de la Nature à s'adapter aux circonstances les plus diverses. Il faut être prudent dans ce domaine, en se rappelant l'aventure arrivée aux biologistes qui semblaient aussi avoir les meilleures raisons quand ils affirmaient que toute vie animale supérieure était impossible dans les grandes profondeurs des océans. On sait comment la Nature a répondu à ceux qui niaient ses capacités à se tirer d'affaire. Il serait d'ailleurs utile que les biologistes s'entendissent avec les chimistes au sujet de leurs objections. En refoulant l'excé-

dent de CO^2 de l'air dans les océans, sous forme de combinaisons diverses, ne rendent-ils pas le milieu marin inapte à la vie marine, qui existait cependant aussi vivace que jamais?

7e Observation.

Admettant donc que l'atmosphère ait pu s'enrichir si fortement, il nous reste à voir comment elle a pu perdre ses réserves au point d'avoir provoqué, à la fin de la période permo-carbonifère, la plus grande période glaciaire. Pour expliquer ce fait, nous n'avons qu'à faire jouer les deux facteurs d'appauvrissement de l'air invoqués par Chamberlin. Il nous sera facile de montrer, par des faits, que pour l'un d'eux au moins, jamais il n'a travaillé plus activement. C'est en effet pendant le Houiller moyen que s'est constituée, au détriment de l'acide carbonique de l'air, la plus forte réserve de carbone de l'écorce terrestre. Immédiatement après, le ridement hercynien a, dans de nombreuses contrées du globe, dressé des chaînes de montagnes de tout premier ordre. Le domaine continental, fortement augmenté et surélevé, a offert aux agents externes, affaiblis par l'érosion des chaînes calédoniennes et par la sédimentation houillère, de nouvelles surfaces de matériaux altérables où se sont immobilisées de fortes quantités d'acide carbonique. Rien d'étonnant donc que l'atmosphère, ainsi appauvrie de tous côtés, ait été incapable de jouer un rôle régularisateur.

Dès lors, les hauts reliefs de l'hémisphère austral étaient tout désignés pour recevoir de grands glaciers continentaux, tandis que les hautes vallées des chaînes hercyniennes abritaient des glaciers alpins. Cela n'a pas empêché les descendants de la riche flore houillère de continuer à subsister, probablement grâce à des adaptations, dans des régions basses privilégiées par des circonstances locales. Je pense que les difficultés que l'on a voulu voir (cf. P. Bertrand, **200**) dans certaines associations de la flore à *Gangamopteris* avec les descendants de la flore chaude houillère n'ont pas l'importance qu'on leur a attribuée. Par sa liaison intime avec des dépôts glaciaires, la flore à *Gangamopteris* est incontestablement, sinon glaciaire, du moins très tempérée. Les descendants de la flore houillère devaient être tout au plus tempérés par adaptation. Au premier abord leur mélange semble anormal. Mais ceux qui s'en étonnent ont oublié plusieurs choses : d'abord que ce mélange n'a été constaté qu'en un très petit nombre de points. Or, au point de vue climatérique, on ne doit jamais déduire des climats généraux d'observations locales, dues à des influences locales. Inversement des

climats généraux n'empêchent pas qu'il puisse y avoir des exceptions locales. Le cas souvent cité de la station de flore mélangée « De Vereeniging » est probablement une exception locale. Enfin, quand il s'agit de plantes, le mélange est souvent dû au transport et n'a rien à voir avec le climat du point où s'opère le mélange final. Un exemple illustrera mieux la portée de ce que je viens de dire : d'un trait de plume on a réuni l'Australie à l'Inde, dans le continent de Gondwana, à cause de leur flore identique, la flore glaciaire à *Gangamopteris;* ce qui n'empêche que juste à mi-chemin entre les deux, la flore stéphanienne de Sumatra n'a montré aucune espèce de la flore à *Gangamopteris (Glossopteris)* (1), mais bien la flore variée du Stéphanien européen. Cela prouve que si les hauts plateaux de l'Inde et de l'Australie abritaient des glaciers, Sumatra, grâce à des facteurs locaux indéterminés (altitude faible, influence de grands courants marins chauds, etc.), pouvait conserver la faune subtropicale.

Toute période glaciaire est suivie d'une phase désertique. Les mers, refroidies par la fusion des glaces, ne peuvent plus s'évaporer et le vent dessèche les mers intérieures juste au moment où celles-ci reçoivent des apports inusités de matières diverses, en solution dans leurs tributaires. La période du Permien supérieur n'a pas manqué de suivre cette règle.

8e Observation.

Une atmosphère riche en acide carbonique ne peut être que tropicale, avec un soleil équivalent au nôtre, ce qui est le minimum admissible. Arrhénius l'a démontré et le bon sens seul suffirait à nous le dire. En empêchant toute déperdition dans l'espace des calories que le soleil nous envoie, on doit nécessairement élever la température moyenne du globe, en même temps que le rôle régularisateur de l'atmosphère, riche en CO^2, veille à ce que cet accroissement soit également réparti partout. Le climat des basses régions devait donc, comme tout le monde l'admet, être tropical, sans excès, durant la phase houillère maximum. Une atmosphère dense est capable, surtout si elle est chaude, de tenir en suspension une dose exceptionnelle de vapeur d'eau, dont l'action diathermane s'ajoute à celle du CO^2. Mais tout cela n'implique pas nécessairement l'absence de toute exception à cette uniformité de température et à cette abondance

(1) Cela résulte de l'*Étude de la Flore de Sumatra*, par GOTHAN et JONGMANS (**62**), complétée par des observations ultérieures mentionnées dans le *Compte rendu du Congrès de Heerlen*, en 1927, p. 533.

d'humidité. Nos tropiques actuels nous donnent assez d'exemples de climats extrêmes, même peu éloignés, pour que nous puissions admettre l'existence de flores de montagne peu éloignées des flores de *swamps*, de même que la présence de dispositifs d'hydrophytisme et de xérophytisme. Ce sont les érosions et les transports qui se sont chargés de réunir le tout dans un cimetière commun, le bassin houiller. Il y aurait encore beaucoup à dire sur la question de lumière, des nuages, mais il faut se limiter.

9e Observation.

Le climat tropical est caractérisé par de longues périodes de calme alternant avec des phases de cyclones ou de typhons d'une violence dont nos modestes tempêtes des régions tempérées ne sauraient nous donner une idée. Lorsqu'un de ces météores s'abat sur un pays boisé, il ne reste, sur son passage, rien de la forêt, et le sol labouré par les pluies ne protège même plus les parties souterraines de la végétation. Tout cela est trop connu pour nécessiter une réédition, même abrégée. Si nous supposons que de pareilles manifestations météoriques se soient produites dans une atmosphère incomparablement plus dense, il nous semble logique d'admettre que les périodes de calme, durant le Houiller, ont dû être bien plus longues, multiséculaires peut-être. Mais aussi, quand les forces qui mettent en branle les éléments de l'air se furent ainsi accumulées, leur influence sur un milieu dense devait être d'autant plus terrible. Je pense qu'il est inutile d'insister. Cependant, des auteurs ont prétendu que la dispersion et la désintégration des débris de plantes ont eu un cours paisible, tranquille et régulier. C'est le cas pour Grand'Eury, dont je cite les propres termes (**64**, p. 14). Un de ses arguments est que l'on voit toujours les mêmes plantes dans le même état de conservation et de fractionnement. On croit rêver en lisant pareille affirmation. Grand'Eury n'a donc pas vu l'infinie variété que présentent, dans les stampes stériles, les débris de toutes les plantes. C'est ainsi qu'il y a tous les types de transition possibles entre un beau tronc-debout et la boue végétale impalpable, en passant par les végétaux hachés et les plantes du toit. D'autres auteurs ont émis la même idée en se basant sur la merveilleuse conservation de beaucoup de restes de plantes, et l'on s'est appuyé sur cette belle conservation pour dire que le transport n'a pu être long. Toutes ces opinions proviennent de ce que nous ignorons quelle résistance les plantes pouvaient opposer à la désintégration. Dans les plus

grands bassins américains et européens, nul n'a jamais constaté que dans un toit fossilifère les plantes étaient en plus mauvais état au centre du bassin que sur les bords. Cependant, comme les plantes du toit viennent du dehors, celles trouvées au centre du bassin doivent nécessairement avoir subi un plus grand transport que les autres.

Du moment où l'on admet que les gisements houillers ont été produits par voie de transport, on doit inévitablement admettre que les plantes ont été enlevées de leur sol natal, à certains moments, non par des phénomènes atmosphériques calmes et normaux, mais par de véritables cataclysmes. En effet, si la période houillère n'avait connu que des atmosphères calmes ou peu agitées, les végétaux seraient arrivés régulièrement dans les cuvettes houillères et le charbon serait distribué également dans les stampes stériles. Il n'y aurait pas de veines. L'existence de celles-ci prouve qu'il y a eu des moments où des phénomènes spasmodiques d'une violence extrême ont pu produire des accumulations inusitées de combustible : les veines.

La variété de dimension des éléments lithologiques des stampes stériles, la variété de puissance de ces stampes, même la variété de richesse en restes de plantes de ces stampes mènent à une conclusion semblable. Les cycles d'érosion, durant tout le Houiller, comportaient toute la gamme de manifestations possibles, avec comme résultat la même variété dans les cycles sédimentaires. Avec de pareilles conditions climatériques, nous pensons qu'il est superflu de revenir sur l'exposé que nous avons fait, en formulant, au début, la partie de notre théorie qui embrasse les phénomènes d'érosion et les phases de calme qui leur succèdent, durant lesquelles peuvent se faire le classement puis le dépôt des matériaux entraînés.

10e Observation.

L'existence de phénomènes de transport de plantes flottées et la nécessité de causes violentes d'érosion trouvent encore une justification dans l'abondance des troncs-debout flottés ou couchés. Dans la nature actuelle, les exemples de masses énormes de bois flottés, dans les cours d'eau, abondent. Et cependant ils ne proviennent pas tous de régions vraiment tropicales. En effet, les faits les mieux connus proviennent du Mississipi et le gigantesque amas de bois flottés de la rivière Rouge [1] peut servir d'exemple typique de l'importance du phénomène. On

---

[1] A. DE LAPPARENT, *Traité de Géologie*, 5e édit., t. I, p. 355.

sait aussi que les troncs flottés, entraînés par les courants marins, peuvent voyager à des distances énormes, et les voyageurs nous ont fait connaître le cas de l'île Jan Mayen, des côtes de Norvège, des rivages de la mer Glaciale, de la Terre de Feu, des îles du Pacifique, etc.

CHAPITRE XI.

La houillification.

Je n'ai pas l'intention d'examiner en détail le captivant et combien important problème de savoir comment les matières végétales se sont transformées en houille de diverses variétés. Nous sommes encore loin d'ailleurs du moment où l'on pourra dire qu'on a trouvé la solution de ce problème.

N'empêche que depuis peu d'années, grâce aux travaux des chimistes et des micrographes, nous sommes en meilleure posture pour parler de ce sujet.

La plus grande réserve cependant s'impose et la plupart des suggestions que je ferai dans ce chapitre sont purement tentatives et probablement provisoires. Ceci dit, on sait maintenant que la houille d'une veine se compose de quatre constituants : 1° une pâte fondamentale plus ou moins abondante suivant les variétés, provenant de la solidification d'un gel colloïdal, résultant de la décomposition surtout des matières cellulosiques des végétaux. Cette pâte, à peu près dénuée de toute trace de structure, est, par suite de son mode de formation, très pure et son abondance dans une couche est un des grands facteurs de la pureté du charbon de cette couche. C'est le constituant du vitrain ou houille brillante des auteurs; 2° il y a ensuite des matières étrangères minérales provenant, soit des végétaux eux-mêmes, soit d'apports terrigènes. Ce sont les cendres de la houille; 3° il y a aussi des corps figurés, associés de diverses façons aux précédents et qui sont des restes végétaux ayant conservé assez de leur structure organique pour qu'on puisse plus ou moins déterminer de quelle partie d'une plante ils proviennent; 4° il y a des gaz occlus sous un état encore mal connu et dont nous ne nous occuperons pas ici. Nous avons suffisamment parlé de l'origine des matières minérales de la houille; il nous reste donc à examiner la pâte fondamentale et les corps figurés.

Tout le monde est d'accord pour admettre que la houille est le résultat de la décomposition microbienne de végétaux. Mais au-delà l'accord disparaît :

Sur la question de lieu. — Dans la théorie autochtone, la

décomposition aurait eu lieu là où les végétaux ont vécu. Mais dans la théorie allochtone, la décomposition des plantes aurait pu avoir lieu là où ont vécu les plantes, là où elles se sont déposées pour former les veines, ou dans les deux situations.

Sur la question de temps. — La décomposition aurait débuté déjà au cours de l'existence de la forêt houillère. Pour d'autres elle se serait faite après la mort de cette forêt, et pour d'autres encore elle n'aurait commencé qu'après l'enfouissement de la forêt sous les sédiments. Elle aurait duré plus ou moins longtemps et durerait encore pour certains (H. Briggs, par exemple). A côté d'opinions tranchées sur ces divers points, il y a des opinions complexes.

Sur la question du processus de transformation. — Les divers agents qui peuvent jouer un rôle dans une fermentation ont été, à tour de rôle, invoqués pour servir de base à des hypothèses. Conditions physiques : pression, chaleur, lumière, temps, etc. Conditions chimiques.

Sur la question des agents microbiens. — Malheureusement, la fragilité des restes de ces être rudimentaires qu'on appelle les microbes, les transitions qu'ils présentent avec la nature inorganique par l'intermédiaire des zymases, etc., font de ce côté du problème un des coins les plus obscurs.

Il ne saurait être question d'entrer, même en raccourci, dans la discussion des hypothèses qui ont été émises sur tous ces problèmes et celles, non moins nombreuses, sur les réactions chimiques qu'elles impliquent. Je devrai donc encore, une dernière fois, me contenter d'exposer ce que je pense, avec justification et, incidemment, la rencontre d'une objection grave.

Je me placerai évidemment uniquement dans l'hypothèse allochtone.

1re Observation.

Parmi toutes les questions que nous venons d'énumérer, celle qui concerne le point de savoir où s'est produite la décomposition des matières végétales est certes celle qui a les rapports les plus étroits avec notre sujet.

Pour les corps figurés, la question ne se pose pas, puisqu'ils ont partiellement échappé à la décomposition; mais, quant à la pâte fondamentale, j'estime qu'elle est due à une fermentation qui s'est produite en grande partie dans la cuvette houillère où se formait la houille, mais avec adjonction de produits de décomposition provenant de réactions opérées en place, c'est-

à-dire dans la forêt où ont vécu les végétaux, avant leur transport. Le peu de renseignements que peut nous donner sur son origine une matière aussi dépourvue de structure que la pâte ou vitrain m'empêche de dire la part qu'il faut attribuer à ces deux facteurs. Je ne puis non plus dire si la fermentation s'est produite uniquement dans la masse végétale accumulée au fond de l'eau, ou si c'est durant la flottaison que le phénomène s'est produit. Il me paraît vraisemblable que les deux cas ont été réalisés.

Il me reste à justifier ce que je viens de dire en prouvant :

1° *L'existence de décompositions en cuvette houillère.* — C'est la plus aisée à prouver. On peut montrer que des végétaux encore reconnaissables sont arrivés, flottés, dans la cuvette houillère et qu'ils s'y sont transformés en vitrain. Pour être bien sûr qu'il s'agit de vitrain, une étude micrographique, non encore pratiquée, je pense, serait nécessaire, mais les caractères macroscopiques semblent autoriser une opinion provisoire. De nombreux auteurs ont reconnu dans le terrain houiller des débris végétaux encore assez reconnaissables pour qu'on puisse leur appliquer un nom générique. Cependant, ces restes sont manifestement devenus du charbon brillant, du vitrain, semblable au vitrain incontesté, par leur composition chimique et leurs caractères physiques. On trouve abondamment de ces restes dans les grès grossiers et conglomérats. Ils sont encore plus abondants et mieux conservés dans les faux-toits, où l'on retrouve, ainsi transformées, toutes les parties de végétaux formant les lits lenticulaires de charbon caractéristiques de ces faux-toits. On les retrouve, en pleine veine, surtout dans les intercalations stériles divisant les veines puissantes et complexes. On les voit même dans le charbon, surtout au contact du toit, du mur ou de ses intercalations. Je possède de beaux exemplaires de ces végétaux charbonneux provenant de la veine Naye-à-Bois du bassin de Charleroi. Les genres *Sigillaria* et *Lepidodendron* sont surtout représentés.

L'écorce des troncs-debout est fréquemment aussi houillifiée. Il me semble évident, d'après ces conditions de gisement, que la structure végétale de ces restes a été conservée uniquement à la surface parce que ces végétaux, avant leur putréfaction, avaient déjà produit une empreinte dans les roches encaissantes, empreintes que le charbon a simplement moulées. Ce sont ces empreintes, bien plus nombreuses qu'on le pense, qui, pendant bien longtemps, m'ont fait croire, comme à beaucoup d'au-

tres, que les veines étaient surtout formées par les empilements d'écorces d'arbres avec appoints d'autres débris méconnaissables. Les recherches de M. Duparque m'ont convaincu que ce n'est que dans les veines ou parties de veines impures que cela est vrai. Ailleurs les débris végétaux sont ou méconnaissables, par suite de leur transformation, ou très réduits, ou ne sont pas des écorces.

Mais la source d'information la plus précieuse nous est donnée par les *coal balls*. Grâce à eux on sait, en effet, qu'au début une couche de charbon se composait d'un amas de débris végétaux de toutes sortes encore assez bien conservés pour que leur structure intime, fixée par le nodule, soit parvenue jusqu'à nous. D'un autre côté, il ne paraît pas y avoir eu dans la veine, au début, de pâte colloïdale, à en juger d'après la très faible teneur en matières charbonneuses des nodules. Cela nous force à croire que le peu de ciment qui enrobe les débris végétaux, sur lesquels les botanistes sont très chiches de renseignements, n'est que de la matière minérale amorphe. Il paraît peu probable que de la pâte colloïdale charbonneuse aurait pu être complètement remplacée par de la matière minérale, par épigénie. Donc c'est sur place et après le dépôt de l'amas de végétaux que cette pâte s'est formée, par fermentation, au détriment de ces végétaux [1].

Suivant les circonstances plus ou moins favorables à cette fermentation, et aussi suivant le plus ou moins de capacité de résistance à la fermentation des divers tissus végétaux, la transformation des végétaux en pâte amorphe a été plus ou moins complète. Dans les vrais anthracites la transformation a été presque complète, avec formation d'une pâte presque totale.

---

[1] Il y a aussi un desideratum à réaliser dans l'étude des *coal balls*. Les botanistes qui les ont décrits nous ont fourni des images réduites aux végétaux les mieux conservés, bien insuffisantes au point de vue géogénique. Ce qu'il nous faudrait, c'est la photographie de plaques minces à surface la plus grande possible, où nous pourrions voir l'état de tous les végétaux, les positions relatives, entre eux et avec leur ciment minéral. Il nous faudrait une bonne étude pétrographique de cette même pâte. Enfin, il faudrait que la position des coupes fût repérée par rapport au gisement, à la stratification de la couche. Cela n'est pas facile, car une fois sortis de leurs veines, les nodules n'ont aucun caractère qui permette d'y retrouver la position des joints de stratification. Il faudrait que le nodule, en place dans la veine, soit pourvu d'indications permettant, après son enlèvement, de savoir comment il gisait dans cette veine. Enfin, les coupes devraient être faites systématiquement en partant de la donnée de la stratification, c'est-à-dire parallèlement et perpendiculairement à cette stratification.

Dans les charbons très riches en matières volatiles, la résistance de la cutine des feuilles et des exines de spores fait que la proportion de pâte est infime. Mais, comme l'a montré bien des fois Duparque, on ne saurait admettre que le fait, pour une couche, de ne renfermer que de la cutine soit dû à une élimination par fermentation, de toutes les autres parties des végétaux. La cutine ne formant qu'une très faible partie de la masse d'un végétal, il aurait fallu que la couche eût une épaisseur fantastique pour laisser une pareille masse résiduaire de cutine. Et alors, où serait la pâte provenant de cette élimination? Comme l'a dit Duparque, cette concentration de cutine est due à des classements antérieurs à la fermentation.

Malheureusement, en stricte logique, ces conclusions si importantes ne peuvent s'appliquer qu'aux veines, très peu nombreuses, où l'on a trouvé des *coal balls*. Comme ces veines, par les caractères marins de leur toit, se sont formées dans des conditions qui pourraient être différentes de celles des autres, il reste un doute sur la possibilité de généraliser ces conclusions. Cela est d'autant plus vrai qu'il existe encore une lacune dans nos connaissances micrographiques. M. Duparque ne nous a pas encore procuré une de ces belles études, dont il a le secret, sur le charbon d'une veine à *coal balls*, en un point voisin de ces *coal balls*. Macroscopiquement, ce charbon ne paraît pas différer des autres charbons, mais on sait qu'il faut être défiant sur ce point, d'autant qu'une de ces veines que je connais montre un charbon bien particulier que j'ai signalé (**142**, pl. 40, n° 1) et qu'il serait bien curieux d'étudier de plus près. Tant que tout cela n'aura pas été fait, il restera un doute sur la structure intime du charbon des veines à *coal balls*. M. Duparque a déjà étudié le charbon d'une veine à toit marin, la veine Poissonnière (**52**, p. 22), mais cette veine n'a pas encore fourni de *coal balls* en France et son toit ne montre que des lingules et non la faune riche à goniatites, etc., des veines à *coal balls*. Mais, heureusement, les études micrographiques de Duparque lui ont permis de reconnaître, dans le charbon des veines ordinaires, que la formation de la gelée brune humique constituant la pâte est postérieure au dépôt des débris végétaux et s'est faite à leur détriment. La fermentation au fond de l'eau des bassins houillers serait donc le fait général et important. Mais à côté de cela il ne me semble pas contestable que les veines se sont enrichies par des apports de végétaux déjà altérés ailleurs, mous et gélatineux. C'est ce qui résulte de la belle étude qu'a faite C.-E. Bertrand des *Stigmaria* sidéritifiés de la veine Marquise

du Boulonnais (**11**, p. 18). Ces débris se seraient altérés durant leur flottaison dans la cuvette houillère, ou avant, et seraient venus s'ajouter à la masse des végétaux en décomposition dans le fond. Les *Stigmaria*, si nombreux dans les *coal balls*, ont probablement la même origine, car ils sont aussi fragmentaires que ceux du Boulonnais. Et si l'on admet cela pour des *Stigmaria*, rien n'empêche, par analogie, de croire que beaucoup de débris flottants ont subi le même sort.

2° *Décomposition en dehors des cuvettes houillères.* — Comme nous l'avons dit précédemment, les continents houillers devaient être couverts de forêts immenses, croissant dans les situations les plus diverses : *swamps*, plaines, pentes du pied des collines. L'humidité extrême et persistante du climat dans les zones inférieures de l'atmosphère devait permettre l'accumulation sur le sol, même sur les pentes, d'une litière en rapport avec la luxuriance de la végétation. Le temps n'est plus où l'on pouvait croire que la tourbe et le terreau ne se formaient pas dans les Tropiques. On sait maintenant qu'il n'en est rien et nous avons énuméré les principaux types de ces tourbières précédemment. Quant au terreau, il se forme rapidement partout où l'ombre et l'humidité empêchent la chaleur de devenir trop vive; et aussitôt formé, par son grand pouvoir rétenteur d'eau, il maintient sur le sol une couche protectrice contre une fermentation trop active.

Dans les plaines basses, l'inondation accélère encore le phénomène. Il n'y a donc pas de doute que dans cette litière la fermentation des matières végétales cellulosiques ne doive rapidement produire, au bas du dépôt, comme dans nos tourbières, des gelées colloïdales plus ou moins parfaites.

Lors de la débâcle cyclonique, ces matières doivent être entraînées avec tout le reste et peuvent contribuer à augmenter l'amas végétal qui se forme quand le calme se rétablit. On sait aussi (**116**) que les eaux pluviales dissolvent, dans ces litières et tourbières, des matières humiques brunes, solubles, et qu'en arrivant dans les cuvettes houillères ces matières doivent se précipiter, comme nous l'avons expliqué (p. 139) sous forme d'un gel floconneux brun, nouvelle source d'enrichissement pour la veine en formation. La pâte fondamentale du charbon (vitrain) possède si peu de caractères individuels, pouvant nous renseigner sur son origine, qu'il est impossible de faire la part de chacune de ces trois sources, probablement inégales, de gelée colloïdale brune. On en est réduit aux suppositions. Ce que je viens de dire n'est pas autre chose.

2e Observation.

Je me rallie complètement à ce qu'a dit sur le sujet que nous venons de traiter M. Duparque (**46**, p. 446); mais, comme je l'ai déjà dit, je ne pense pas que les conclusions très fondées auxquelles il arrive impliquent fatalement une décomposition sous faible couche d'eau. Puisque, dit-il, il faut, pour former du charbon, que la quantité d'eau en présence soit suffisamment faible par rapport à la masse de la matière végétale (p. 448), dans ces conditions, si l'on suppose une masse d'eau plus grande, il suffira d'augmenter proportionnellement la masse végétale à décomposer. Or, cette masse a dû être formidable. Les belles découvertes de M. Duparque vont nous permettre de nous en faire une idée. Un de ces travaux les plus instructifs est celui où il a montré qu'une même veine, la veine Poissonnière, présentait, suivant les régions, toute la gamme des compositions chimiques et toute la série des types de structure micrographique, la différenciation étant due à un classement des matières végétales diverses (**52**, p. 22). Or, dans une région, la veine ne se compose que de cutine de feuilles et de spores, tandis qu'ailleurs elle est formée aux dépens des autres parties des végétaux (lignine et cellulose). Dans d'autres travaux, il nous a montré que des veines puissantes n'étaient formées que d'enveloppes de spores (**46**, p. 443). Comme les plus grosses n'ont guère qu'un millimètre de diamètre, cela peut nous donner une idée, dit-il, de la puissance de la végétation houillère.

J'ajouterai que cela peut nous donner encore une autre idée : si ces veines à charbon de cutine sont aussi le produit d'un classement, comme cette cutine ne représente qu'une fraction infime de la masse d'un végétal houiller, il s'ensuit que pendant que cette cutine se déposait dans une partie de la cuvette, dans le reste devait s'entasser la masse formidable du reste des végétaux. N'y avait-il pas là de quoi saturer des couches d'eau assez épaisses? D'ailleurs, l'activité microbienne intense qui devait régner dans le milieu houiller devait bien vite produire assez de matières toxiques, en mers fermées, pour modérer et même arrêter les fermentations ultérieures. Je vois une preuve de ce fait dans une autre observation due à M. Duparque. Comme M. C.-E. Bertrand l'a montré (**11**), dans de petits lacs permiens, des algues d'eau douce ont pullulé au point de former, en une saison, des couches de *boghead*. Par contre, Duparque a constaté que ces algues (**55**, p. 9) sont extrêmement rares dans les charbons. Si ces algues ne se sont pas développées dans les condi-

tions favorables que semblent leur avoir fourni les bassins houillers, n'est-ce pas par suite de la toxicité des eaux? D'ailleurs, les matières humiques, en arrivant dans les cuvettes, devaient être rapidement soustraites à la fermentation par la floculation qui les précipitait au fond.

3e Observation.

C'est le moment de voir par quel processus microbien s'est opérée la solubilisation et la gélification des matières lignocellulosiques, les plus altérables. M. Duparque a cité deux cas de ce genre, dans la Nature actuelle, qui paraissent réaliser les deux types possibles (**46**, pp. 448-450) : c'est le rouissage du lin et la fabrication d'un liant pour combustibles menus. Cette dernière opération, par les conditions où elle s'opère, est une fermentation aérobie, au contact de l'air. C'est donc la moins importante, celle qui se réalise probablement dans la litière des forêts. La première réaction est, au contraire, anaérobie, se faisant sous l'eau. C'est la plus importante, celle qui s'est opérée au sein des cuvettes houillères.

Il existe d'ailleurs d'autres réactions anaérobies connues, celles qui se font dans le classique *septic tank*. Des eaux d'égout mélangées de débris organiques divers, animaux, végétaux, soumises à l'action de microbes anaérobies, donnent lieu à un abondant dégagement de gaz et au dépôt d'une matière brune gélatineuse, en même temps qu'à la formation d'une pellicule colorée en noir par du sulfure de fer surtout. Ce dernier fait nous explique l'abondance du sulfure de fer dans la houille. Il est dû à la désagrégation microbienne des matières protéiques sulfurées ou à la réduction des sulfates. (Cf. J. Pia, **99**, p. 8.)

Comme nous l'avons dit, une troisième source de gelée colloïdale se trouve dans la floculation des matières humiques dissoutes.

4e Observation.

Dans la houillification il y a deux points connexes entre eux et avec notre sujet. C'est la question de savoir quelle quantité de charbon les végétaux pouvaient produire et ensuite celle de la réduction de volume ou de dimensions que subissent les végétaux en se houillifiant et les veines en achevant leur formation. De grands savants n'ont pas craint de se livrer à des calculs qui avaient d'autant plus d'intérêt que l'on espérait pouvoir tirer des chiffres des données sur le temps qu'il a fallu pour former une veine ou le Houiller tout entier. Ce dernier problème

est bien attrayant, mais nous devons le laisser de côté. De la façon dont on a opéré les calculs, on ne pouvait rien obtenir de bon. On se basait sur la nature actuelle et d'aucuns n'avaient pas même hésité à prendre les bases de leurs opérations dans les régions froides du globe. Nous ne discuterons pas ces chiffres et les deux problèmes étant absolument connexes, nous ne les séparerons pas. Des auteurs mieux avertis ont suivi une autre marche. Von Gümbel a mesuré l'épaisseur de plantes transformées en charbon et reconnaissables (**168**, p. 163). Il a constaté que de petits *Calamites* et autres plantes arborescentes, d'environ 0 m. 10 de diamètre, donnaient des anneaux de charbon de 0 m. 001 d'épaisseur. Il évalue la réduction d'épaisseur de certaines feuilles à la moitié seulement. C'est donc bien différent, dit-il, des chiffres précédemment cités. La pression, d'ailleurs, n'a pas dû jouer un rôle important, car les débris couchés ne sont pas plus réduits que les débris debout. Grand'Eury a émis sur ce sujet des considérations de grande valeur, basées sur ses observations. Il a vu des écorces de cordaïtes donner des lits de charbon de 0 m. 02 à 0 m. 04, et des feuilles du même une lame de charbon bien visible (**64**, p. 148).

Mais les faits les plus intéressants concernent la réduction de puissance des couches. Des auteurs ont prétendu que la pression pouvait réduire les couches de charbon, après leur enfouissement, au 1/10e de leur épaisseur.

Grand'Eury se demande, d'après cela, ce qui se serait passé au-dessus des amas de charbon de 30 et de 60 m. des bassins du Centre de la France, si de pareils tassements étaient réels et quelles allures le toit des amas devait affecter. Or, ces toits ne montrent rien d'anormal. Non moins concluante est l'observation du passage latéral de charbon à du schiste, sans que le toit manifeste aucune dépression sur le charbon (**63**, p. 62, pl. IV, fig. 1, p. 100). De ses observations il déduit que le tassement n'a été que de 1/2, comme von Gümbel, et égal à celui du schiste. Ces observations refutaient d'avance l'explication que P.-F. Kendall a cru pouvoir donner (**85**) de certaines bifurcations de veines, englobant des lentilles stériles. Il les expliquait, non pas tectoniquement, mais par la réduction de puissance plus grande du charbon par rapport à ces roches stériles. Il se basait sur des expériences montrant que sous le poids de 100,000 pieds de sédiments, la tourbe *sèche* subirait une réduction de 5 à 1. Mais la tourbe, qui est sèche dans les laboratoires, ne l'est pas dans la Nature, où elle est souvent gorgée d'eau. Or, des expériences ont montré (**7**) que la tourbe gorgée d'eau

est incompressible. D'ailleurs, le phénomène en question n'est ni tectonique ni dynamique; c'est un simple jeu de sédimentation. Qui n'a pas vu des lentilles de grès dans des schistes, ou l'inverse?

En étudiant, par la méthode de l'incinération, des anthracites américains, que l'on considère souvent comme ayant subi le métamorphisme le plus intense, on y a constaté que les cellules et les fibres ont la même forme que dans les plantes vivantes et elles n'ont donc pas été comprimées (**5**).

J'ai réuni une collection d'échantillons de plantes reconnaissables, transformées en charbon brillant et provenant surtout de faux-toits. Les épaisseurs de charbon concordent complètement avec les chiffres de Grand'Eury. Il est surtout frappant de voir l'épaisseur d'une pinnule de *Neuropteris*. Naturellement, les plantes de faux-toit, enfouies dans de l'argile, sont en meilleures conditions que celles d'un amas de veine en fermentation, et il est certain qu'un gel colloïdal, gorgé d'eau, doit subir, par simple dessiccation, une forte réduction. Le tout est de savoir si la réduction a eu lieu avant ou après la formation du toit. L'étude des cailloux roulés empruntés à des couches non encore recouvertes (**143**), l'étude des *wash-outs* prouvent que si la houille ne s'est pas déposée comme houille, comme l'ont dit certains, du moins a-t-elle acquis rapidement et avant son enfouissement une consistance notable.

Stopes et Watson ont décrit un fait bien intéressant pour montrer la réduction que subit une veine par la houillification. C'est le célèbre *coal-ball* de Shore, pesant 2 tonnes, épais de plus de 1 m. et enclavé dans la veine Bullion, qui n'a que 0 m. 30 de puissance. Un filet de charbon enveloppe le nodule, dont la forme est quelconque. Il est bien certain que la veine a subi une réduction de puissance que les auteurs évaluent aux 4/5 de l'épaisseur du nodule (**162**, p. 174). Il est bien regrettable que les auteurs ne nous donnent de ce gisement qu'une photo où l'on ne distingue rien (pl. XVII, fig. 4), ni les contours du nodule, ni la stratification du toit, dans ses rapports avec le nodule, c'est-à-dire rien de ce qu'il faut pour apprécier les conditions de gisement et l'origine de ce précieux témoin. Un dessin eût été infiniment préférable.

Depuis longtemps on sait qu'il y a des veines très complexes, formées de lits dont les caractères microscopiques et macroscopiques sont bien différents. On y avait reconnu l'existence de lits sans corps figurés, d'autres avec débris végétaux, surtout des spores (**68**) (**171**). En plus, il y avait des intercalations schis-

teuses. Ces constatations ont été confirmées par les micrographes modernes et surtout précisées. Or, par l'étude de la pâte amorphe des charbons, très abondante dans beaucoup de variétés, M. Duparque a montré qu'elle avait été fluide au début (**55**, p. 10). Mais elle a dû se consolider rapidement et en tous cas avant qu'un lit suivant, d'une autre nature, se formât; sans cela, dans un milieu fluide, les matériaux de densité différente contenus dans une couche, au lieu de se stratifier dans l'ordre de leur dépôt, se seraient classés par ordre de densité, ce qui n'est pas le cas. De ces diverses considérations je déduis qu'une bonne partie des caractères de la couche étaient acquis avant son enfouissement sous des sédiments minéraux. La considération suivante me porte à croire que les phénomènes de transformation par fermentation étaient aussi presque ou complètement terminés; sans cela on devrait retrouver dans les gaz contenus dans les veines, en majorité de l'anhydride carbonique, corps le plus abondant produit par les fermentations. Or on sait que ce gaz n'existe qu'en proportion infime dans les grisous. Les phénomènes chimiques qui ont pu se produire après le dépôt du toit me paraissent être surtout des résinifications ou des caramellisations, comme on les a appelées, transformations possibles grâce à l'abondance de l'oxygène dans les matières végétales même transformées. La dessiccation, avec toutes les modifications qu'elle peut amener dans des corps colloïdaux, a dû jouer alors un rôle capital, et la pression, à laquelle on donne si volontiers un rôle chimique, a dû agir surtout en facilitant l'expulsion de l'eau. Même sur les propriétés physiques des charbons, je pense que le rôle de la pression a été exagéré. Sinon, comment expliquer qu'il y ait dans les petits bassins limniques français des charbons ayant les mêmes caractères physiques et la même variété de composition chimique que dans les grands bassins où il y a une épaisseur dix fois plus grande de sédiments, sans compter, pour certains, la masse des lambeaux charriés hercyniens. Pourquoi y a-t-il de l'anthracite dans de tout petits bassins, en Portugal, en Sardaigne, au Cantal, comme à la base des puissantes stampes houillères des grands bassins?

5e Observation.

Il existe des relations entre la composition chimique actuelle des diverses variétés de charbon et leurs conditions de gisement. Comme ces conditions de gisement résultent du mode de formation, on voit que pour être complète notre étude doit porter

aussi de ce côté. Les relations en question sont nombreuses. J'en ai étudié plusieurs jadis (**157**) et le sujet n'a cessé de me préoccuper. Mais parmi ces relations, deux sont d'importance prépondérante. La première, la plus générale, connue sous le nom de loi de Hilt, a trait aux changements de composition observés dans une série de couches, en superposition normale, en un endroit donné. La seconde vise les changements qu'une même couche peut présenter suivant les régions. Ce n'est à proprement parler qu'une exception à la loi dite de Hilt, et l'on ne peut séparer leur étude. Les théories émises pour expliquer les deux relations se rattachent à deux catégories. Tantôt, pour expliquer les changements, on fait appel à un métamorphisme qui aurait affecté les couches après leur enfouissement; tantôt on les explique par les circonstances particulières prévalant lors de leur dépôt et de leur houillification. Je suis partisan de cette manière de voir, à la suite des travaux de J. Stevenson surtout. Nombreux sont ceux qui, avant et après, ont traité ce sujet, dans un sens ou dans l'autre. Dans ses nombreux travaux, M. Duparque a apporté des arguments nouveaux, d'une importance capitale, en faveur de la théorie de l'influence des conditions originelles. Sa belle étude, déjà citée, de la veine Poissonnière (**52**, p. 22) a fait la lumière sur l'influence des conditions originelles pour expliquer les variations en surface d'une même couche. Mais l'explication de la cause ou des causes de la loi de Hilt reste encore à trouver. Dans le travail susdit (**157**), j'ai prouvé qu'à la fin de la période houillère ces causes avaient déjà produit tout leur effet au point de vue chimique, et j'ai apporté de nouveaux arguments à cette thèse (**143**). Cela limite le champs des hypothèses à cette période.

La loi de Hilt est une loi universelle et elle s'applique à tous les types de bassins. Elle ne le fait pas partout avec la même rigueur et il y a de petites exceptions de divers genres; mais le fait important rend ces détails très secondaires. Cela nous indique tout de suite que pour expliquer la loi, il faut invoquer une cause universelle dans ses effets et capable de produire ce qui caractérise la relation de Hilt, c'est-à-dire une augmentation graduelle et assez régulière de la richesse en matières volatiles des veines, quand on s'élève dans une série de veines superposées.

La recherche de cette cause universelle et régulière se heurte à ce qu'il y a des faits qui ne sont pas universels et réguliers. Les voici.

A) Dans divers bassins il y a bien des séries de couches

parallèles comme composition, mais les mêmes teneurs ne sont pas synchroniques. Cela provient de ce que dans certains bassins, ou dans les parties d'un même bassin, les couches inférieures n'ont pas la même composition; d'où il résulte un décalage de toute la série.

B) Les causes universelles n'ont pas partout agi avec la même vitesse ou la même énergie, d'où il résulte que, dans de petits bassins aux couches peu nombreuses et à stampe peu épaisse, on peut avoir les mêmes compositions extrêmes que dans de grands bassins épais, aux couches nombreuses.

Cela étant, il faut en conclure que s'il y a une cause universelle, elle a pu subir des modifications locales ou dans le temps, qui seront à voir.

Parmi toutes les causes universelles qu'on pourrait invoquer, une seule me paraît capable de nous suffire : c'est le climat de l'époque permo-carbonifère, avec sa variation systématique dans l'hypothèse Tyndall-Arrhénius.

Ce facteur, en effet, répond aux desiderata que nous avons cités :

A) C'est un facteur universel. Jamais, au dire de presque tous les paléobotanistes, le climat du globe n'a été plus universellement uniforme.

B) Par ses diverses caractéristiques : température, lumière, pression barométrique, météores, etc., le climat peut agir directement sur les phénomènes qui règlent la houillification et qui sont, en partie, ce qu'on a appelé les conditions originelles de formation de la houille.

C) Par sa variation systématique et régulière, en conformité avec la théorie Tyndall, le climat nous montre un parallélisme remarquable avec la variation systématique et régulière de la composition des charbons.

Reste à expliquer les deux anomalies précitées : le manque de synchronisme et la différence de vitesse ou d'énergie d'action. On pourrait les expliquer en admettant l'influence de phénomènes locaux. Ceux-ci auraient agi sur la vitesse et l'énergie en freinant. Quant au décalage dans le synchronisme, on pourrait dire que, dans la course vers les hautes teneurs en matières volatiles, certains bassins, ou parties de bassins, ont été handicapés, parce qu'ils ne sont pas tous partis du même point. Reste à justifier ces affirmations, en trouvant ces facteurs locaux, lesquels doivent aussi pouvoir faire preuve d'influence variant systématiquement. Je vois deux de ces facteurs

qui peuvent avoir agi en commun, ou seulement le premier, que je considère comme le plus apte.

1° Dans les bassins du Nord-Ouest de l'Europe, on sait que, durant la période westphalienne, les bassins présentaient tous des géosynclinaux en pleine formation (voir p. 219). Le centre s'enfonçait graduellement, et ce qui le prouve, c'est que malgré l'apport de milliers de mètres de sédiments, le caractère lithologique de ces sédiments n'a guère varié. A cette preuve, M. Pruvost en a ajouté une autre encore plus convaincante (**109**). Il a montré, par des coupes, que l'épaisseur des sédiments était, au centre, double de ce qu'elle était sur les bords. La profondeur n'augmentait donc pas au centre; mais, tandis que ce centre s'enfonçait, les bords se relevaient. On en voit la preuve dans les matériaux roulés arrachés par l'érosion à ces bords soulevés avec leur couverture de strates houillères inférieures, émergée par ce soulèvement. Comme conséquence, la masse d'eau de chaque bassin allait graduellement en diminuant. Si l'on ajoute à cela l'effet de plissements transversaux, on pourra dire qu'il y avait tendance à la formation de bassins isolés au détriment des grands bassins et, par conséquent, tendance à la production de conditions locales plus variées, en plus d'une diminution régulière du volume d'eau de ces bassins. La diminution du domaine des mers houillères, en accroissant les continents, permettait un plus grand développement de la végétation au voisinage de ces mers. C'est peut-être dans ces deux phénomènes : réduction d'étendue des bassins et augmentation de la végétation, qu'il faut rechercher l'explication du fait que les veines, peu nombreuses et minces au début du Houiller, augmentent en nombre et en puissance au Houiller moyen, pour décliner fortement au Houiller supérieur, cette fois pour des raisons climatériques. Quoi qu'il en soit, des apports plus grands de produits toxiques solubles de la fermentation tourbeuse des continents, dans les mers à volume décroissant, devaient créer, dans ces mers, un milieu de plus en plus impropre à une fermentation active. Or, n'est-ce pas précisément cela qui est de nature à assurer, au cours des temps houillers, une conservation de plus en plus forte des matières volatiles, les plus exposées à la dispersion par la fermentation? Il y a donc, dans le mécanisme invoqué, un facteur à la fois capable et systématique.

On peut maintenant reprendre le problème plus haut. D'après la théorie de Tyndall, le climat houiller, par fixation de carbone soustrait graduellement à l'atmosphère, serait devenu de

moins en moins chaud, jusqu'à arriver à une phase glaciaire. Il y aurait là un facteur général agissant dans le monde entier. Mais, à côté de lui, aurait existé un autre facteur, celui que nous venons de décrire, agissant dans le même sens, mais indépendamment et affecté par des facteurs locaux, ce qui fait qu'il pouvait, ou bien coopérer avec le facteur principal, ou le contrecarrer en le freinant. Des variations dans le volume des pluies pouvaient aussi amplifier le rôle de ce facteur secondaire, qui, dans les conditions que lui procure son origine, est déjà très élastique.

2° Il est encore un autre facteur à allure systématique dont on pourrait invoquer l'intervention. C'est le phénomène du dessalement progressif des cuvettes houillères, si bien mis en évidence par la transformation de la faune houillère et dont j'ai parlé plus haut (p. 000). Par suite de cette salure décroissante, la précipitation de la matière brune par floculation, matière provenant des forêts continentales, serait allée graduellement aussi en diminuant. Comme cette matière brune est une des sources de la pâte des charbons, c'est peut-être là un des facteurs du fait signalé par Duparque que, dans la série des couches, la proportion de pâte diminue au fur et à mesure que les teneurs en matières volatiles augmentent.

Comme nous l'avons dit, le classement des diverses parties des végétaux, dans une cuvette houillère, peut, comme dans la veine Poissonnière, expliquer les variations latérales de composition d'une même couche, en faisant intervenir les agents invoqués par la théorie bien connue de J. Stevenson : la différence de profondeur où s'exécute la houillification et la distance au rivage de la cuvette. Mais je ne puis concevoir comment un classement de ce genre aurait pu se produire, au cours des temps houillers, de façon à n'admettre, dans les couches inférieures, que les parties ligno-cellulosiques, et dans les dernières, les parties cutinisées.

Je pense qu'il est plus logique d'admettre que si nous n'avons plus dans nos couches houillères supérieures que des charbons de cutine, riches en gaz, c'est parce que les érosions posthercyniennes ne nous ont plus laissé que les centres des synclinaux, où cette variété de charbon était concentrée par le classement supposé par Duparque.

La plus grande partie de ce que je viens de dire demanderait à être prouvée par de plus amples développements et par des faits, comme il aurait aussi fallu discuter les opinions contraires. Cela m'eût entraîné très loin et ces développements seront mieux à leur place dans un autre travail.

CONCLUSIONS

Comme le dit Duparque (**53**, p. 178), H. Potonié, le rénovateur de la théorie autochtone, a admis que les stampes stériles, avec leurs végétaux hachés, sont des produits de transport. M. Duparque a prouvé la nature sédimentaire des couches de combustible. J'espère avoir montré que le mur n'est qu'un prétendu sol de végétation et qu'il est aussi formé par transport. Que reste-t-il d'autochtone dans nos grands bassins? Sans vouloir dire qu'il n'y ait rien d'autochtone, je demande qu'on me le montre, mais avec démonstration à l'appui. La complexité du problème auquel je me suis attaché fait que j'ai dû émettre de nombreuses hypothèses. De nouvelles observations, l'emploi de nouvelles méthodes, démontreront probablement l'inanité de beaucoup, de la plupart peut-être, de ces hypothèses. J'espère cependant avoir, par les faits que j'ai apportés et par la discussion de ces faits et d'autres, projeté un peu de lumière dans cette captivante question du mode de formation des gisements houillers. Je m'estimerai heureux si mon travail a pu contribuer à montrer que cette question ne peut être tranchée en un trait de plume, en lançant à tout hasard des affirmations dénuées de preuves ou en relatant des observations rudimentaires.

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

(1) C. R. de la visite de la Société géol. du Nord à l'Expos. d'Anvers. (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XXVI, 1897, p. 155.)

(2) Geolog. Survey of Great Britain. (*Summary of Progress* for 1921.)

(3) ADAMSON, S.-A., Notes on a recent discovery of *Stigmaria ficoïdes*. (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. XLIV, 1888, p. 375.)

(4) AITKEN, J., Union of the Gannister and higher Foot coal. (*Trans. geol. Soc. of Manchester*, t. V, 1866, p. 185.)

(5) BAILEY and TESCHEMACHER. (*Amer. Journ. of Science*, 2e sér., t. I, p. 407; t. II, p. 420.)

(6) BALL, S.-H., Carbonif. form. of the N. slope of the Ozark uplift. (*Journ. of Geol.*, 1904, p. 335.)

(7) BARNES and HOLROYD. (*Trans. Manchester geol Soc.*, t. XXV, 1896-1898, p. 114.

(8) BARROIS, CH., Étude des galets trouvés dans le charbon d'Aniche (Nord). (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XXXVI, 1907, p. 248.)

(9) — La répartition des arbres-debout dans le terr. houill. de Lens. (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XL, 1911, p. 187.)

(10) BEETE-JUKES, J., On the geology of the S. Staffordshire coalfield. (*Rec. of the School of Mines*, t. I, part 2, 1853.)

(11) BERTRAND, C.-E., Le boghead d'Autun. (*Bull. Soc. d'Industrie minérale*, 3e sér., t. VI, 1892.)

(12) BERTRAND, P., Les phénomènes glaciaires de l'époque permo-carbonifère. (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XXXVIII, 1909, p. 92.)

(13) BERTRAND, P. et PRUVOST, P., La structure du bassin houiller de la Sarre. (*Revue univers. des mines*, 7e sér., t. XVII, 1928, p. 70.)

(14) BLACK, M., Wash-outs in the estuarine series of Yorkshire. (*Geol. Magazine*, t. LXV, 1928, p. 301.)

(15) BLANCHARD, R., La Flandre... (*Publ. de la Soc. dunkerkoise pour l'Avanc. des Lettres*, 1906.)

(16) BIDAUT, E., *Mines de houille de l'arrond. de Charleroi*. (Bruxelles, 1845, in-4°, A. Decq.)

(17) BINNS and BARROW, Excursion to the royal Albert Dock extension. (*Proc. geologist's Assoc.*, t. XXV, 1914, p. 117.)

(18) BINNEY, W., On the *Dukinfield Sigillaria*. (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. II, 1846, p. 392.)

(19) — Obs. on the foss plants..., part III. (*Paleontological Soc. of London*, 1871.)

(20) BOLTON, H., Horizon and paleontology of the soapstone bed. (*Geolog. Magazine*, dec. V,t . II, 1905, p. 433.)

(21) BOUHY, V., Mém. couronné sur les variétés de houille au Couchant de Mons. (*Mém. de la Soc. des Sciences du Hainaut*, t. III, 1854-1855, p. 83.)

(22) BRIART, A., Étude sur la structure du bassin houiller du Hainaut (Centre). (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XXI, 1894. *Mém.*, p. 125.)

(23) — Note sur la formation de la houille. (*Publ. de la Soc. des Ing. de Mons*, t. XIV, 1re sér., 1867, p. XXII et pp. 1-17.)

(24) — La formation houillère. (*Bull. Acad. roy. de Belg.*, t. XVIII, 3e sér., 1889, p. 815.)

(25) BULMAN, G.-W., Underclays. (*Geolog. Magazine*, dec. III, t. IX, 1892, p. 351.)

(26) — Drift coal in sandstone. (*Ibidem*, p. 150.)

(27) CARRUTHERS, The cryptogamic forest of the coal period. (*Geolog. Magazine*, t. VI, 1869, p. 289.)

(28) CAYEUX, L., Les tourbes immergées de la côte bretonne. (*Bull. Soc. géol. de France*, 4e sér., t. VI, 1906, p. 102.)

(29) — Roches sédiment. de France. Roches siliceuses. (*Mém. p. serv. à l'expl. de la Carte géol. de France*, Paris, 1929.)

(30) CONACHER, H., On a marine limestone... within the Hurlet coal seam. (*Trans. Inst. min. Engin.*, t. LX, 1920-1921, p. 56.)

(31) CORNET, J., Le terrain houiller sans houille et sa faune... (*Ann. Soc. de géol. de Belg.*, t. XXXIII, 1906, *Mém.*, p. 151.)

(32) — Formation des charbons et des pétroles. (Extrait de l'ouvrage *Géologie*, t. III, p. 160; Mons, 1921, C. Leich.)

(33) DAVIES, D., On the ecology of the Westphalian... (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. LXXVII, 1921, p. 30.)

(34) DAWSON, On the coal-measures of the South-Joggins. (*Quart. Journ. of the geol. Soc. of London*, t. X, 1854, p. 1.)

(35) — *Some salient points in the science of the Earth.* (London, 1893.)

(36) — On the conditions of the deposition of coal... (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. XXII, 1866, p. 95.)

(37) — On the ...erect trees containing animal remains... (*Trans. royal Soc.*, 1882, part 2, n° 164, p. 621.)

(38) — Not. of the occurence of upricht Calamites... (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. VII, 1851, p. 194.)

(39) DELEPINE, G., Transgression de la mer carboniférienne... (*Congr. géol. internat. Comptes rendus XIIIe sess.*, Bruxelles, 1922, p. 609.)

(40) DELTENRE, H., Note sur les cailloux roulés dans une couche de houille. (*Ann. Soc. de géol. de Belg.*, t. XXXV, 1908, *Bull.*, p. 169.)

(41) — Les empreintes végétales au toit des couches. (*Ibidem*, p. 212.)

(42) DE NADAILHAC, *Prehistoric America.* (London, J. Murray, 1885, p. 323.)

(43) DE RANCE, Geology of the Lancashire coalfield. (*Proc. of the geologist's Assoc.*, t. V, 1878, p. 400.)

(44) DE SAPORTA, La formation de la Houille. (*Revue des Deux-Mondes*, t. LIV, 1882, p. 684.)

(45) DITTMAR, W., Rep. of the scient. res. of the voy. of the Challenger. (*Physics and Chemistry*, t. I, p. 115.)

(46) DUPARQUE, A., La comp. chim. des subst. végét. et des houilles... (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. LI, 1926, p. 403.)

(47) — Remarques sur les interc. stériles d'une veine... de Mariemont. (*Ibidem*, t. LVI, 1931, p. 161. (En collaboration avec S. DEFRETIN-LEFRANC.)

(48) — Sur les clivages des houilles et des schistes. (*Ibidem*, t. LV, 1930, p. 161.)

(49) — Remarques sur la nature des quatre constituants macrosc. de la houille. (*Ibidem*, t. LI, p. 212.)

(50) — La veine Dusouich au siège n° 7 de Liévin. (*Ibidem*, t. LII, 1927, p. 104.)

(51) — Les charbons de cuticule du bass. houill. du Nord de la France. (*Ibidem*, t. LII, 1927.)

(52) — La nature de la houille révélée par le microsc. métallograph. (*Bull. Soc. des Sciences... de Lille*, 1926-1927.)

(53) — Rap. entre les prop. ind. des houilles et les comp. des subs. végét. (*Congr. intern. des Mines, de la Métall. et de la Géol. appl.*, Liége, 1930, p. 169.)

(54) — Le rôle des actions mécaniques, dans l'évolut. des couches... (*Bull. Soc. géol. de France*, 4e sér., t. XXVIII, 1928, p. 455.)

(55) — La struct. microscop. et macroscop. de la houille... (*Revue de l'Industrie minérale*, n° 142, *Mém.*, 1926, p. 493.)

(56) FAYOL, H., Études sur le terr. houill. de Commentry (1re partie). (*Bull. de la Soc. de l'Ind. minérale*, 2e sér., t. XV, 1886.)

(57) FOURMARIER, P., Coupe de sondage n° 77 (Klein-Heide). (*Ann. des Mines de Belg.*, t. XVI, 1911, p. 642.)

(58) FOX-STRANGWAYS, Geol. of the Leicestershire coalfield. (*Mem. of the geol. Survey*, 1907, p. 39.)

(59) GIBSON, W., Geology of the N. Staffordshire coalfield. (*Mem. of the geol. Survey*, 1905, p. 48.)

(60) — The geol. of the S. part of Derbyshire... coalfield. (*Mem. geol. Survey*, 1908, p. 79.)

(61) GIRTY, G.-H., Upper carboniferous. (*Journ. of Geology*, t. XVII, 1909, p. 309.)

(62) GOTHAN und JONGMANS, Beit. z. Kenntn. d. Flora d. Oberkarb. v. Sumatra. (*Verh. Mijnb. Gen. v. Nederl. geol. ser.*, t. VIII, 1925, p. 279.)

(63) GRAND'EURY, C., Formation de la houille et du terrain houiller. (*Mém. Soc. géol. de France*, 3e sér., t. IV, 1887.)

(64) — Mém. sur la formation de la houille. (*Ann. des Mines de France*, 8e sér., t. I, 1882, p. 99.)

(65) — Quatre notes sur les végét. houillers et les sols de végét. (*C. R. Acad. des Sc. de Paris*, t. CXXX, 1900; Séance des 2-IV, 23-IV, 30-IV et 21-V.)

(66) GREEN, A.-H., Var. in coal seams of the Yorkshire coalf. (*Trans. N. of Engl. Inst. min. Eng.*, t. XXV, 1876, p. 13.)

(67) GRESLEY, W.-S., Notes on the formation of coal-seams as suggested by evidence collected in Leicestershire and south Derbyshire coal-fields. (In-12, 8 pp., 7 fig., s.l.n.d. Développement avec figures d'un article paru dans *Quart. Journ. geol. Soc. of London*, t. LII, 1887, p. 671.)

(68) — A typic sect. taken in detail of the main seam... (*Trans. geol. Soc. of Manchester*, t. XXI, 1891-1892, p. 520.)

(69) — On the occurence of boulders... in the coal-measures. (*Ibidem*, t. XIX, 1886-1888, p. 491.)

(70) GRIFFITH, On the Flintshire cannel seam. (*Trans. N. of Engl. Inst. min. Engin.*, t. XIX, p. 80.)

(71) HALL, J. (*Rep. on the geol. Surv. of Iowa*, t. I, part 1, 1858.)

(72) HAWKSHAW, J.-C., Notes on the peat... in the Albert dock (Hull). (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. XXVII, 1871, p. 237.)

(73) HENDY, J.-C.-B., On a wash-out in the Pleasley and Teversall collieries. (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. XLVI, 1890, p. 432.)

(74) HENSLOW, G., On the xeroph. character of cert. coal plants... (*Quart Journ. geol. of London*, t. LXIII, 1907, p. 251.)

(75) HIND (WHEELTON) and STOBBS, J., The carboniferous succession below the coal meas. (*Geologic. Magazine*, 1906, p. 391.)

(76) HIRMER, M., Ueber Vork. u. Verbreit d. Dolomitknollen u. d. Flora. (*C. R. Congrès de strat. carbon.*, Heerlen, 1927, p. 289.)

(77) HULL and GREEN, Geolog. of the country around Stockport, Macclesfiend... (*Mem. of the geological Survey of England*, 1866.)

(78) — Geology of the Yorkshire coalfield. (*Ibidem*, 1878.)

(79) HULL, ED., On the upper limit of essential. marine strata of the Carbonif. (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. XXXIII, 1877, p. 613.)

(80) HURST, T.-G., On some pecul. of the Tyne Low main seam. (*Trans. N. of Engl. Inst. min. Eng.*, t. VIII, 1859-1860, p. 23.)

(81) JACQUES, L., Études sur la houille du bassin de Liége. (*Rev. Univers. des Mines*, t. XXII, 1867, p. 149.)

(82) JONES, R., KIRBY, J. and YOUNG, J., Carbonia its horizons... in Fife. (*Trans. geol. Soc. of Edinburgh*, t. VII, 1899, p. 420.)

(83) KARAPETIAN, O., Coupe des sondages de Waudrez et d'Harmignies. (*Ann. des Mines de Belgique*, t. XVII, 1912, pp. 453 et 467.)

(84) — Rech. sur la proport. de fer dans le toit et le mur... (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XXXIX, 1912, *Bull.*, p. 303.)

(85) KENDALL, P.-F., On the splitting of coal seams... (*Trans. Inst. of mining Engin.*, t. LIV, 1918, p. 464.)

(86) KIRBY and DUFT, On the geology of South Durham. (*Trans. nat. hist. Soc. of Northumberland*, t. IV, part I.)

(87) KUBART. (*Paleobotanisch Zeitschrift*, t. I, 1912, p. 15.)

(88) LECLERCQ, S., Les *coal-balls* de la couche Bouxharmont. (*Mém. in-4° de la Soc. géol. de Belg.*, 1925.)

(89) LEGRAYE, M., Étude détaillée d'une couche d'anthracite du bassin de Liége. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. LIV, 1930, *Bull.*, p. 128.)

(90) LEGRAYE, M., A propos de quelques types de concrétions... (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. LIV, 1931, *Bull.*, p. 331.)

(91) MALAQUIN, Le *Spirorbis pusillus* du terr. houiller de Bruay. (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XXXIII, 1904, p. 63.)

(92) MARLIÈRE, R., La struct. microscop. des houilles, d'après les trav. de A. Duparque. (*Public. Soc. Ingénieurs de Mons*, 2e fasc., 1931, n° 37.)

(93) MARSH, C.-M., The struct. and relationships of the Carbonicolae. (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. LXIX, 1913.)

(94) MATHET, Étude sur le bassin de Ronchamp. (*Bull. Soc. indust. min.*, 2e sér., t. X, 1881, pl. XIV, fig. 13-16.)

(95) MIDDLETON, F.-E., On the wash-outs in the Middle coal measures.. (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. LXI, 1905, p. 339.)

(96) MURRAY, J. (*Narrat. of the cruise of the Challenger*, t. I, part 2, p. 981.)

(97) NEWBERRY, J.-S., On the parallelism of coal seams. (*Amer. Journ. of Science*, sér. 3, 1874, t. VII, p. 367.)

(98) OSBON, C. and SOPER, E., The occurences and uses of peat in the United States. (*U.-S. geol. Survey*, bull. n° 728, 1922.)

(99) PIA, J., *Pflanzen als Gesteinbildner*. (Berlin, 1926, Borntraeger.)

(100) PHALEN, W.-C., Economic geol. of the Kenova quadrangle. (*U.-S. geol. Survey*, bull. n° 349, 1908, p. 69.)

(101) POTONIÉ, H. (*Zeits. d. deutsch geol. Ges.*, t. LIII, 1901, *Protokoll*, pp. 12-13.)

(102) — Der... Baumstumpf mit Wurzeln aus dem Carbon des Piesberges. (*Jahrb. d. k. preuss. geol. Landesanstalt*, 1890, p. 296.)

(103) — Die Einstehung der Steinkohle u. verwandter Bildungen. (*Berlin Borntraeger*, 1905; avec traduction franç. par R. P. G. Schmitz.)

(104) — Eine gewöhnl. Art der Erhaltung von *Stigmaria*... (*Zeits. d. deutsch. geol. Ges.*, t. XLV, 1893, p. 97.)

(105) — *Lehrbuch der Pflanzenpalaeontologie*. (Berlin, 1899.)

(106) — Ueber Autochtonie von Carbon-Flötzen... (*Jahrb. k. preuss. geol. Landesanst.*, t. XVI, 1895, p. 1.)

(107) PRESTWICH, J., Geology of Coalbrookdale. (*Trans. geol. Soc. of London*, 2e sér., t. V, p. 442.)

(108) PRUVOST, P., La faune continentale et la div. stratigr. des terr. houill. (*Congr. de Stratigraphie carbonifère*, Heerlen, 1927, p. 519.)

(109) — Sédimentation et subsidence. (*Soc. géol. de France*, Livre jubilaire, 1930, t. II, p. 545.)

(110) PUMPELLY, R., Prelim. rep. on iron ores and coal fields. (*Geol. Survey of Missouri*, 1872.)

(111) RENIER, A., Obs. paléont. sur le mode de formation du terrain houiller belge. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XXXII, 1906, *Mém.*, p. 261.)

(112) — Coupe du sondage n° 102 (Oostham-village). (*Ann. des Mines de Belg.*, t. XXVIII, 1927, p. 270.)

(113) — Coupe du sondage n° 103 (Lummen-Gestel). (*Ibidem*, p. 872.)

(114) RENIER, A., Note sur les prem. déc. de vég. à struct. cons. (*Ann. Soc. géol. de Belg.*, t. XXXVII, 1910, *Bull.* p. 9, et t. XLI, *Bull.*, p. 332.)

(115) — Les gisements houillers de la Belgique (10 parties). (*Ann. des Mines de Belg.*, années 1913 et suiv.)

(116) REINDL, J., Die schwarzen Flüsse Südamericas. (*Günther. Münchener geograph. Studien*, 1903, Stück 13.)

(117) RENAULT, B., Étude sur les *Stigmaria*. (*Ann. des Sciences géolog.*, t. XII, 1880, p. 1.)

(118) ROME, J. and WOOD, S., On the... structure of Lincolnshire and S.-E. Yorkshire. (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. XXIV, 1868, p. 146.)

(119) RUTHERFORD, J., The coalfields of Nova-Scotia. (*Trans. N. of England Inst. min. Eng.*, t. XIX, 1869-1870, p. 113.)

(120) SACHSE, Ueb. d. Entstehung d. Gesteinsmitteln zwischen Steinkolenfl. (*Zeitsch. f. d. Berg. Hutten. u. Salinenw.*, t. XXX, 1882, p. 271.)

(121) SCHMITZ (R. P. G.), Le mur des couches de houille et sa flore. (*Ann. Soc. geol. de Belg.*, t. XXII, 1895, *Bull.*, p. 13.)

(122) — Une souche d'arbre au mur d'une couche. (*Ann. Soc. scientif. de Bruxelles*, *Bull.*, t. XIX, 1894-1895, p. 21.)

(123) — La signif. géogén. des *Stigmaria* au mur des couches de houille. (*Ibidem*, t. XXI, 1896-1897, p. 32.)

(124) — Un banc à troncs-debout au charbonnage du Grand Bac. (*Bull. Acad. roy. de Belg.*, 3e série, t. XXXI, 1896, p. 260.)

(125) — Formation sur place de la houille. (*Revue des Questions scientif.*, Bruxelles, t. XLIX, 1906.)

(126) SEWARD, A.-C., Fossil plants. (Cambridge, 1898; University Press, vol. I.)

(127) — Fossil plants as tests of climate. (1892, p. 39.)

(128) SORBY, H.-C., On the remains of a fossile forest... (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. XXXI, 1875, p. 458.)

(129) STEVENSON, J., On the alleged parallelism of coal beds. (*Proc. Amer. philos. Soc.*, t. XIV, 1874, p. 283.)

(130) — The formation of coal beds. (*Ibidem*, v. L., p. 1; v. LI, p. 423; v. LII, p. 31.

(131) STAINIER, X., Stratigraphie du bassin houiller de Charleroi. (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XV, 1901, *Mém.*, pp. 1-60, 1 pl.)

(132) — Étude sur le bassin houiller du Nord de la Belgique. (*Ibidem*, t. XVI, 1902, *Mém.*, p. 77.)

(133) — Rencontre de troncs d'arbres-debout... à Oignies-Aiseau. (*Ibidem*, t. XVII, *Mém.*, p. 539.)

(134) — Note sur les cailloux roulés des couches de charbon de Belgique. (*Ibidem*, t. XXIX, p. 77 et p. 104.)

(135) — Des relations génétiques entre les différents bassins houillers belges. (*Ann. des Mines*, t. IX, 1904, p. 411.)

(136) — Le *pseudo-cannel coal* de la veine Anglaise... Charleroi. (*Ann. Soc. scient. de Bruxelles*, t. XLIV, 1925, p. 527.)

(137) STAINIER, X., Un gisem. de troncs d'arbres-debout au charb. de Falisolle. (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XVI, 1902, *Mém.*, p. 69.)

(138) — Veines de houille anormales. (*Ibidem*, t. XLIII, 1933, p. 17.)

(139) — Le conglom. houiller de Beaulieu. (*Ann. Soc. scientif. de Brux.*, t. XLVII, 1927, p. 177.)

(140) — Observations géologiques sur la côte belge. (*Rev. des Questions scientif. de Bruxelles*, avril 1925.)

(141) — Les veines de combustible du sommet du calc. carbonif. (*Ann. Soc. scientif. de Brux.*, t. XLII, 1922, p. 180.)

(142) — Stratigraphie des assises inf. du bassin houiller du Hainaut. (Jumet, 1932, in-4°, 153 pl., 35 pp.)

(143) — Les cailloux de charbon et ce qu'ils nous apprennent. (*Ann. Soc. scientif. de Bruxelles*, t. L, *Bull.*, 1930, p. 34.)

(144) — Stratigraphie du bassin houiller de Liége. (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XIX, 1905, *Mém.*, p. 1.)

(145) — Comp. entre l'ass. de Châtelet et les *Lower coal meas.* des Midlands. (*Ibidem*, t. XLII, 1932, p. 157.)

(146) — Troncs d'arbres-debout dans le Landenien supérieur. (*Ibidem*, t. XXIII, proc. verb., p. 270.)

(147) — De la formation des gisements houillers. (*Ibidem*, t. XX, 1906, proc. verb., p. 112.)

(148) — Notes sur la formation des couches de charbon. (*Ibidem*, t. XXV, 1911, proc. verb., p. 73.)

(149) — Stratigraphie du bassin de Charleroi. (*Ibidem*, t. XV, 1901, *Mém.*, p. 1, pl. I.)

(150) — On the pebbles found in belgian coal seams. (*Trans. Manchester geol. Soc.*, t. XXIV, 1896.)

(151) — Cailloux roulés intéressants du Houiller belge. (*Bull. Soc. géol. de Belg.*, t. XXXIX, 1929, p. 57.)

(152) — Les pierres de Wulpen. (*Ann. Soc. scientif. de Brux.*, t. XLIX, *Bull.*, p. 48.)

(153) — Nouv. gisem. de troncs-debout du Houiller belge. (*Bull. Soc. belge de Géol.*, t. XXXV, 1925, p. 34.)

(154) — Structures remarquables de charbons belges. (*Ann. Soc. scientif. de Bruxelles*, t. LI, 1931, *Bull.*, p. 208.)

(155) — On the connexions betw. the N.-W. european coalf. (*Trans. Inst. of mining Engin.*, t. LI, 1916, p. 99.)

(156) — Le pouvoir perforant des plantes. (*Ann. Soc. scientif. de Brux.*, t. LIV, *Bull.*, 1934, p. 54.)

(157) — Des rapp. entre la compos. des charb. et leurs cond. de gisem. (*Ann. des Mines de Belg.*, t. V, 1900.)

(158) STIRRUP, M., On foreign boulders in coal seams. (*Trans. geol. Soc. of Manchester*, t. XIX, 1886-1888, p. 410.)

(159) — On coal and coal plants. (*Ibidem*, t. XVIII, 1885, p. 189.)

(160) STOBBS, J. (*Trans. of the N. Staffordshire field club*, t. XXXVI, 1902, p. 86.)

(161) STOCKS, H.-B., On the origin of cert. concret. in the lower coal measures. (*Quart. Journ. of the geol. Soc.*, LVIII, 1902, p. 46.)

(162) STOPES, M. and WATSON, D., On the pres. distrib. and origin of... Coal balls. (*Phil. trans. of the roy. Soc.*, t. CC, 1908, p. 167, sér. B.)

(163) STRAHAN, A., The passage of a seam of coal into a seam of dolomite. (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. LVII, 1901, p. 297.)

(164) — On submerged land-surfaces at Barry. Glamorganshire. (*Ibidem*, t. LII, 1895-1896, p. 474.)

(165) SWARTZ, C.-K., Distr. a. stratigr. of the coal meas. of Maryland. (*Geolog. Survey of Maryland*, t. XI, 1922, p. 49.

(166) TWENHOFEL, W., *Treatise on sedimentation.* (2e éd.; London, 1932; Baillière, Tindall et Cox.)

(167) VAN STRAELEN, V., Rés. scientif. du voy. aux Indes Néerlandaises de S. A. R. le Prince Léopold. (*Mus. d'Hist. nat. de Bruxelles, Mém. hors série*, t. I, 1933.)

(168) VON GUMBEL, Beitr. z. texturverh. d. Mineralkohlen. (*Sitz. Ber. d. k. bayer. Akad. d. Wiss. Math. phys. Cl.*, 1883.)

(169) WATSON, D., The formation of coal-balls in the coal measures. (*Trans. Inst. of mining Engin.*, t. XXX, pp. 135-220, 1906-1908.)

(170) WATTS, W., Annivers. adress of the president. (*Quart. Journ. geol. Soc.*, t. LXXIV, 1911, p. LXXXV.)

(171) WHETERED, E., On the struc. and origin of carbon. coal seams. (*Trans. a proc. of the Journ. of the roy. microscop. Soc.*, sér. 2, t. V, 1885.)

(172) WHITE, D., Upper paleozoïc climate as indicated by fossil plants. (*The scientific Monthly*, t. XX, 1925, p. 465.)

(173) WHITE, I.-C., The Pittsburg coal bed. (*Proc. of the amer. Assoc. f. the Adv. of Science*, t. XLVI, 1897.)

(174) WILLIAMSON, On the fossil trees of the coal measures. (*Trans. geol. Soc. of Manchester*, t. XIX, 1888, p. 386.)

(175) — (*Proc. of the roy. Soc. London*, t. LVII, 1895, p. 1.)

(176) WILLIS, B., Conditions of sedimentary deposition. (*Journ. of geol.*, t. I, n° 5, 1893, p. 504.)

(177) ZEILLER, R., Éléments de Paléobotanique. (Paris, 1900.)

(178) ZELECHOWSKI, W., Galets trouvés dans... le bassin houiller de Pologne. (Krakow, 1926; en polonais avec résumé français.)

ANNEXE BIBLIOGRAPHIQUE

A. — Transformations des faunes d'eau salée et d'eau douce.

(179) *La Nature.* (Paris, 1874, p. 27 : Lac Baïkal; 1878, v. I, p. 30 : Lacs de Suède; 1904, v. I, p. 335 : Lac Victoria-Nyanza.)

(180) *Encyclopedia britannica.* (IIe éd., v. III, p. 215 : Lac Baïkal.)

(181) *Stanford's Compendium of geography.* (2e éd., 1886, p. 358 : Lac Palaiostom; p. 409 : Lac Aral.)

(182) BARROIS, CH., Les strates marines du Houiller du Nord. (Paris, 1912, p. 91.)

(183) BEUDANT. (*Ann. des Mines de France*, t. I, 1816, et *Mém. Acad. des Sciences de Paris*, 13-V-1816.)

(184) BLANFORD. (*Geolog. Magazine*, 1877, p. 314.)

(185) EKMAN, S., Studien über die marinen Relikte der norddeutschen Binnengewässer, III. (*Rev. internat. d'Hydrobiologie et d'Hydrographie*, t. VI, 1914, p. 493.)

(186) GONE, P.-H., A year at the sea shore. (1877, p. 153 : Lacs de Suède.)

(187) HUDLESTON, On the origin of the marine fauna of lake Tanganyika. (*Geolog. Magazine*, 1904, p. 337.)

(188) HULL, ED., On the origin of the fishes of the sea of Galilea. (*Rep. Brit. Assoc. f. Adv. of Sc.*, 1885, p. 1066.)

(189) KOROTNEFF. (*Archives de Zoologie expérimentale*, 4e sér., t. II : Lac Baïkal.)

(190) MOORE, J.-E., The Tanganyika problem. (London, 1903; Hunt and Blackett.)

(191) ORTMANN, E., American freshwater fauna and change in river system. (*Amer. philosoph. Soc.*, 1913.)

(192) RAMSAY, A.-C., *Phys. Geol. and Geography of Great Britain*. (5e éd., p. 106.)

(193) STANILOWSKI, A.-M., Lac Baïkal (en russe). (*Publ. de la Sect. sibér. de la Soc. imp. de Géographie de Russie*, n° 7, 1912.)

(194) SOLLAS, J.-W., On the origin of freshwater faunas. (*Scient. transact. of the roy. Soc.*, Dublin, sér. 2, t. III.)

(195) STROMER, E., Ist Tanganyka ein relikten-See. (Petermann's Mittheil, t. XLVII, 1901, p. 275.)

(196) VON MARTENS, E., On the occurrence of marine animal forms in freshwater. (*Mag. of Nat. Hist.*, 3e sér., t. I, 1858, p. 50; traduction de W.-S. Dallas.)

(197) WERENBERG-LUND, Sur l'existence d'une faune relicte dans le lac de Furesö. (*Overs. kon. dansk. Videnskab.*, 1902, p. 256.)

B. — Climats des époques anciennes.

(198) *Comptes rendus du Xe Congrès géolog. intern.* (Mexico, 1896, pp. 129-134.)

(199) La atmosfera y el carbon de piedra. (Madrid, 1865-1867, in-4°; Imp. de la Novedades.)

(200) BERTRAND, P., Les phénomènes glac. de l'époque permo-carbonifère. (*Ann. Soc. géol. du Nord*, t. XXXVIII, 1909, p. 92.)

(201) CHAMBERLIN, T.-C., The influence of great limestone form. upon... the atmosph. (*Journ. of Geology*, t. VI, 1898, p. 609.)

(202) — An attempt to frame an hypothes. of the cause of glac. periods. (*Ibidem*, t. VII, 1899, 3 parties.)

(203) — A group of hypoth. bearing on climat. changes. (*Rep. british Assoc. f. Adv. of Science*, 1907, p. 644.)

(204) CARRUTHERS, On the forests of the carbon. period. (*Geol. Magazine*, 1869, p. 300.)

(205) DEMOUSSY, E., Sur la végét. dans les atmosph. riches en acide carbonique. (*C. R. Acad. Sc. de Paris*, t. CXXXVI, 1903, p. 325.)

(206) DUBOIS, E., Die Klimate d. geol. Vergangenheit. (Nymegen, 1893.)

(207) FRECH, F., Studien über das Klima d. geol. Vergangenheit. (*Zeits. der Ges. f. Erdkunde zu Berlin*, 1902, p. 611.)

(208) GILES, A.-W., Pennsylvanian climates and paleontology. (*Bull. amer. Assoc. of petrol. geogists.*, t. XIV, 1930, p. 1279.)

(209) HARLÉ, E. et A., Le vol des grands rept. et insectes disparus... (*Bull. Soc. géol. de France*, 4e sér., t. XI, 1911, p. 118.)

(210) HARKNESS, R., On the climate of the coal period. (*Trans. geol. Soc. of Manchester*, t. II, 1843, part 8, p. 28.)

(211) HUBLARD, G. and WILDER, CH., Validity of the indicat. of ancient climates. (*Bull. geol. Soc. of America*, t. XLI, 1930, p. 275.)

(212) HUNT, ST., The chemical and geolog. relations of the atmosphere. (*Mineral Physiology and Physiography*, 2e sér., Boston, 1886, p. 30.)

(213) IRVING, A., Note on the rel. of percent. of carb. acid. to the life... of plants. (*Rep. british Assoc. f. Adv. of Sc.*, 1888, p. 661.)

(214) KELVIN (Lord), On the fuel supply and the air supply of the earth. (*Ibidem*, 1907, p. 553.)

(215) KERNER-MARILAUN, F., Paläoklimatologie. (Berlin, 1930, Borntrager.)

(216) KNOWLTON, Evolution of geolog. climates. (*Bull. geol. Soc. of Amer.*, t. XXX, 1919, p. 499.)

(217) KÖPPEN, W., Die Klim. der geol. Vorzeit. (Berlin, 1921, Borntrager.)

(218) MACKEE, R.-H., The primaeval atmosphere. (*Science new series*, t. XXIII, 1906, p. 271.)

(219) MACKIE, W., The felspars pres. in sed. rocks as indic. of the... climate. (*Trans. Edinburgh geol. Soc.*, t. VII, 1893-1898, p. 444.)

(220) — The apatites in sed. rocks as ind. of atmosph. carb. acid... (*Trans. geol. Soc. of Glasgow*, t. XVII, 1825-1826, p. 407.)

(221) MACGREGOR, A., The problem of the precambrian atmosph. (*South Afric. Journ. of Science*, t. XXIV, 1927, p. 155.)

(222) PROCTOR, C., The atmosph. in the early geolog. periods. (*Trans. Inverness Sc. Soc.*, t. III, p. 415.)

(223) RENAULT, B., Sur l'activité végét. aux époques antiques. (*C. R. Acad. Sc. de Paris*, t. CXXXVI, 1903, p. 601.)

(224) SCHUCHERT, Evolution of geologic climates. (*Amer. Journ. of Sc.*, 5e sér., t. I-II, 1921, pp. 187 et 320.)

(225) SEMPER, M., Die Klimatproblem der Vorzeit. (*Geol. Rundschau*, t. I, 1910, p. 57; contient une bibliographie sur le sujet.)

(226) SEWARD, Botanical evidence on the climatic... conditions. (*Rep. brit. Assoc. f. Adv. of Science*, 1900; joint discussion sect. C. et K.)

(227) — Fossil plants as test of climates. (London, 1892, J. Clay; Cambridge University press.)

(228) STEVENSON, J., The chemical and geol. history of the atmosphere. (*Lond. Edinburgh and Dublin philos. Mag.*, sér. 5, t. I, 1900, pp. 312-399.)

(229) TOLMAN, C.-F., The carb. dioxide of the Ocean and its rel. to the... atmosphere. (*Journ. of Geol.*, t. VII, 1899, p. 585.)

(230) VAN HISE, A treatise on metamorphism. (*U.-S. geol Survey Mem.*, 1904, pp. 964 et suiv.)

(231) VISHER, S., Incr. oceanic salinity as a cause of incr. climate contrasts. (*Bull. geol. Soc. Amer.*, t. XXXII, 1921, p. 429.)

(232) WHITE, D., Permo-carboniferous climate changes in S. America. (*Ibidem*, t. XVIII, 1908, p. 624.)

(233) — Environtam. conditions of deposit. of coal. (*Trans. amer. Inst. of min. Eng.*, 1925.)

(234) — Upper paleozoic climate as indicated by fossil plants. (*The scientific Monthly*, t. XX, 1925, p. 465.)

(235) WILLIS, B., Conditions of sedimentary deposition. (*Journ. of Geol.*, t. I, part 5.)

(236) — Climate and carbonic acid. (*Pop. Science Monthly*, 1901, p. 242.)

(237) WINKLER, CH., Wirkt die in uns. Zeitalt... Verbr. v. Steink. veränd. auf d. Atmosph. (*Ber. zweit. allgem. deutschen Bergmannstage*, Dresden, 1883.)

Voir aussi la bibliographie du sujet de Twenhofel (**166**, p. 365).

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

PRÉAMBULE ... 51

PREMIÈRE PARTIE. — *Exposé d'une hypothèse de formation allochtone des gisements houillers* ... 54

DEUXIÈME PARTIE. — *Démonstration de la théorie*... ... 61

Chapitre premier. — Le mur des couches de charbon ... 61
Dix-neuf observations.

Chapitre II. — Sédimentation et stratification dans le Houiller. 126
Huit observations.

Chapitre III. — Irrégularités de la sédimentation et de la stratification houillère... ... 158

Chapitre IV. — Mouvements du sol. Profondeur d'eau. Cycles sédimentaires. Transgressions et régressions durant la période houillère ... 163
Quatre observations.

Chapitre V. — Corps étrangers contenus dans la houille ou les roches houillères ... 175

§ 1. Corps volumineux... ... 175

§ 2. Cendres des veines de charbon ... 182

Chapitre VI. — Les troncs-debout du Houiller ... 187
Dix-huit observations.

Chapitre VII. — Les « coal-balls » du Houiller ... 210

Chapitre VIII. — Les Faunes du Houiller... ... 218

§ 1. Évolution des faunes du Houiller... ... 218

§ 2. Conditions d'habitat des carbonicolidés... ... 223

§ 3. Habitat des Spirorbis et des entomostracés... ... 225

§ 4. Animaux dans le charbon lui-même... ... 226

Chapitre IX. — La végétation houillère ... 227
Sept observations.

Chapitre X. — Climat de l'époque houillère... ... 237
Dix observations.

Chapitre XI. — La houillification... ... 247
Cinq observations.

CONCLUSIONS... ... 262

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE ... 263

ANNEXE BIBLIOGRAPHIQUE... ... 270

A. — *Transformation des faunes d'eau douce et d'eau salée*... ... 270

B. — *Climats des époques anciennes* ... 271

TABLE DES MATIÈRES ... 274