

Régions diverses. — Le grès à trilobites se retrouve en Espagne et au Portugal. Le silurien supérieur, sous forme de calcaires noirs avec schistes charbonneux, tachant les doigts, existe aux environs de Luchon, dans la partie centrale des Pyrénées, tandis que, dans le Languedoc, la place de l'assise à calymènes est occupée, à Neffiez, par des schistes avec gros nodules, contenant des trilobites gigantesques.

Très richement représenté en Amérique, où une de ses assises, à l'état calcaire, forme le déversoir de la célèbre chute du Niagara, et où une autre renferme des gisements de sel, le silurien se retrouve au Brésil, en Inde, en Chine et dans la zone arctique. Là il a été observé par 82° 40' de latitude nord et de grands polypiers calcaires y ont été recueillis, attestant que le climat des tropiques, nécessaire au développement de ces organismes, devait alors s'étendre jusqu'au pôle.

§ 4

SYSTÈME DÉVONNIEN

Grande-Bretagne. — Dès l'ouverture de la période dévonienne, le continent boréal, qui avait servi d'appui aux sédiments marins du silurien de l'Europe septentrionale, fait vers le sud de sensibles progrès. En Écosse et dans le nord de l'Angleterre, là où s'étaient déposées les couches fossilifères de la période précédente, il se forme des lacs intérieurs ou au moins de grandes lagunes, impropres à la vie marine, et l'érosion continentale y entasse des milliers de mètres de grès bruns ou rouges, de schistes, de marnes et de conglomérats, constituant le *vieux grès rouge* (*old red sandstone*) des Anglais, où abondent les restes de poissons ganoides.

La mer est alors rejetée au sud, dans le Devonshire. De là elle vient toucher le Boulonnais et se dirige vers l'est, où il lui faut franchir une passe étroite, sur l'emplacement de la vallée de la Meuse, entre Namur et Charleville.

Région ardennaise. — A ce moment, presque toute la Belgique est émergée, ainsi qu'une partie de la France septentrionale. Dans le détroit de la Meuse, les sédiments s'accumulent,

variant de nature avec une grande rapidité, et il suffit de la distance de Namur à Givet pour que, au même instant, des couches très diverses viennent tapisser le fond de la mer.

Non loin de Fumay, à Fepin, au milieu des versants boisés qui dominent la Meuse, on voit des poudingues et des arkoses, marque d'un ancien rivage, reposer en discordance sur les phylades cambriens. Au-dessus se développent des *grawwackes* grises (c'est-à-dire des schistes d'où l'élément calcaire a disparu, laissant subsister de petits espaces vides) et des grès noirs ou verdâtres, à pavés; puis des schistes très rouges avec poudingues (*poudingue de Burnot*) et des minerais de fer (oligiste de Couplevoie). Alors il semble que la sédimentation détritique ait produit son principal effort. Des schistes calcaires, avec calcéoles, se déposent en couches réglées et on y voit apparaître des lentilles de *marbre* (marbres de Trélon et de Couvin), construites par les organismes et atteignant parfois plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Ce nouveau *facies* calcaire et marmoréen devient tout à fait prépondérant à l'époque du *calcaire de Givet*, ou calcaire à stringocéphales, dont les masses bien stratifiées sont largement exploitées sous la citadelle de Charlemont. Mais bientôt la sédimentation vaseuse reprend et le calcaire ne forme plus, au milieu des schistes, que des nodules ou des lentilles isolées d'un marbre tantôt bleuâtre, tantôt bariolé et qualifié de *griotte* (marbres de Frasne et de Fromelennes).

L'élément calcaire disparaît ensuite tout à fait et un schiste infertile se montre seul sur la région de la Famenne, en attendant qu'aux approches du Condros le *facies* arénacé s'introduise sous la forme de grès micacés, finement stratifiés, dits psammites, avec lesquels se termine le dévonien ardennais.

Eifel; région rhénane; Europe orientale. — Au delà des Ardennes la mer dévonienne s'épanouit de nouveau, couvrant l'Eifel et toute la Westphalie. Les sédiments de la base se montrent dans la chaîne du Taunus, transformés par le métamorphisme en quartzites et en schistes micacés ou *sériciteux* (la *séricite* est une variété de mica). Au-dessus vient l'importante assise de la *grawwacke de Coblenz* ou grès à spirifères, suite de schistes décalcifiés, de grès et de quartzites, bien visible sur les

bords de la Lahn ainsi que sur le Rhin, entre Coblenz et Bonn ¹. Cette assise supporte dans le Nassau et dans l'Eifel un calcaire à stringocéphales ², parfois transformé en minerai de fer et surmonté lui-même par des schistes à goniatites, qui contiennent la faune du dévonien supérieur ou étage *famennien*.

Une série assez conforme à la précédente s'observe dans le Hartz. Mais en Bohême le dévonien n'est plus représenté que par sa partie tout à fait inférieure, intimement liée au silurien. Il n'en existe pas de traces dans les régions baltiques et, pour le retrouver, il faut pénétrer en Russie. Là, par une heureuse coïncidence, des couches d'eau douce ou saumâtre, contenant les poissons du vieux grès rouge anglais, alternent avec des sédiments marins, ce qui permet de trancher la question, longtemps controversée, de l'âge de l'*old red*.

Bretagne, Plateau Central, etc. — A la fin de la période silurienne, la région de l'Armorique et du Cotentin paraît avoir été constituée à l'état d'île, à peu près dans ses limites actuelles. Sur les bords seulement, du côté de Brest comme dans la basse Loire et près des frontières du Maine, de l'Anjou et de la Normandie, la mer pénétrait par quelques échancrures, où l'étage *rhénan* a presque seul laissé des traces. Ce sont des dépôts tantôt arénacés et de couleur claire (grès de Gahard), tantôt calcaires et marmoréens, de teinte sombre (calcaires de Gahard, de Néhou, de Brulon, de la rade de Brest, de Chalennes et de Montjean), tantôt schisteux et décalcifiés (grauwacke du Faou, près de Brest).

Très rare aux abords du Plateau Central, où il n'existe guère qu'en un point de l'Allier, le dévonien se retrouve dans le Languedoc, près de Neffiez (où reparaissent les griottes), en divers points de l'Espagne, notamment aux Asturies et dans la province de Léon; puis sur le Bosphore, dans le Sahara et le Maroc, en Chine, au Brésil, enfin dans l'Amérique du Nord, où il est très puissant et très varié, mais difficile à paralléliser avec le dévonien d'Europe.

1. D'où le nom d'étage *rhénan*.

2. Étage *eifélien*.

§ 5

SYSTÈME PERMO-CARBONIFÈRE

Conditions géographiques de l'Europe pendant la période permo-carbonifère. — La période permo-carbonifère s'ouvre par des mouvements du sol, qui creusent dans les continents dévoniens des sillons où pénètre la mer. Autour des massifs anciens, tels que la Bretagne, les Vosges, le Nassau, le Hartz, la Bohême, l'Écosse, se forme une frange de dépôts arénacés et schisteux, habituellement compris sous la dénomination générale de *Culm*, et où les débris végétaux sont parfois mêlés aux fossiles marins, souvent aussi à des tufs éruptifs. Mais plus au large et surtout dans l'espace qui sépare l'ancien continent boréal des îles auxquelles se réduit encore la partie moyenne de l'Europe, ce sont des calcaires qui se déposent, en une large trainée qu'on peut suivre depuis l'Irlande jusqu'en Westphalie et qu'on retrouve ensuite sur le territoire russe, lorsqu'on a doublé le cap de la Saxe et de la Bohême.

Après cette première époque dite *anthracifère*, le régime continental reprend le dessus. Les rivages marins reculent peu à peu, et là où les organismes calcaires venaient d'édifier leurs puissantes constructions, des eaux torrentielles vont jeter dans la mer, en la comblant de proche en proche par leurs deltas, des masses de matières végétales et de sédiments détritiques. C'est l'époque *houillère*, au début de laquelle se constituent les riches bassins de la Grande-Bretagne, du Pas-de-Calais, de la Flandre, de la Belgique, du Limbourg, de la Westphalie et de la Silésie, ainsi que de petits bassins lacustres, isolés dans les dépressions des massifs anciens.

Bientôt un important mouvement du sol accentue les plis anthracifères, en y faisant participer les calcaires déjà déposés. La mer se retire et le phénomène d'accumulation des combustibles se poursuit non plus dans la mer, mais dans des lacs à l'intérieur des continents, donnant naissance aux trainées de bassins houillers du Plateau Central, des Cévennes, des Vosges, de la Bohême, des Alpes, de l'Espagne septentrionale. A la fin, l'Europe est presque entièrement émergée et il ne s'y dépose

plus guère que des grès rouges, lorsque, sur les régions septentrionales, la mer revient un moment, sous forme de nappes peu propres à la vie organique, et dont les dépressions se comblent par des dépôts de sel et de gypse. C'est l'époque *permienne* ou *pénécène*¹.

Tandis que ces choses se passent dans les régions septentrionales et moyennes de l'Europe, tout autre est la condition de la zone méditerranéenne. Au delà des îlots anciens, tels que le Plateau Central de l'Espagne, le massif des Maures, etc., ce sont des calcaires qui vont se déposer, non seulement durant la phase anthracifère, mais aussi pendant les deux autres. Ces calcaires s'observent en Carinthie et en Carniole, où l'on peut constater que la partie moyenne, celle qui correspond à notre étage houiller des bassins anglais et franco-belges, abonde en foraminifères du genre *Fusulina*. Enfin, en Russie, on voit se souder, en quelque sorte, le *facies* continental et le *facies* de mer ouverte ou pélagique. Pendant que de véritables couches de houille s'y intercalent parmi les calcaires de l'étage anthracifère, des *calcaires à fusulines*, souvent blancs et presque crayeux, apparaissent à la place des faisceaux houillers de l'Europe occidentale; et ils sont couronnés par d'autres calcaires, qu'on suit vers l'est au delà du Caucase, et qui représentent le type pélagique de l'étage permien.

Grande-Bretagne. — Les divisions du système permo-carbonifère, dans la Grande-Bretagne, sont depuis longtemps classiques, en raison de l'importance que les exploitations houillères ont prise dans ce pays avant tous les autres.

A la base se trouve le *calcaire de montagne* (*mountain limestone*), quelquefois puissant de 1200 mètres, entièrement marin et le plus souvent marmoréen. Ensuite vient le *grès meulier* ou *millstone-grit*, épais de 120 à 1700 mètres. Ce grès sert de support au terrain houiller productif ou *coal-measures*, ensemble de schistes, de grès, d'argiles et de minerais de fer, de 1500 à 3600 mètres, avec une épaisseur moyenne de houille de 15 à 22 mètres. Cette richesse est habituellement répartie en un assez grand nombre de couches, dont la puissance est en

1. Ainsi nommée de sa *pauvreté* en restes organiques.

moyenne de 60 centimètres. Plusieurs retours de fossiles marins, dans les schistes qui encaissent le charbon de terre, attestent que la formation s'est accomplie dans des deltas.

Tandis que le calcaire de montagne appartient à l'étage anthracifère, le *millstone-grit* et les *coal-measures* représentent l'étage houiller et principalement sa partie inférieure, celle que caractérise la grande abondance des *sigillaires*. La partie supérieure de l'étage houiller est mal représentée en Angleterre. Mais le *permien* y apparaît sous la forme d'un grès rouge dit *nouveau grès rouge inférieur* (par opposition au vieux grès rouge dévonien), qui supporte un *calcaire magnésien* ou dolomitique, à faune marine très atrophiée.

A mesure qu'on se rapproche du nord, l'élément calcaire diminue dans l'étage anthracifère, lequel en arrive à contenir les bassins houillers les plus productifs de l'Écosse.

Flandre, Belgique, Westphalie. — En Flandre et dans le détroit qu'on peut appeler franco-westphalien, coïncidant avec la vallée de la Sambre, puis avec celle de la Meuse de Namur à Liège, le *calcaire carbonifère* est très développé. Il débute par les calcaires schisteux de Tournai, avec le marbre bleu à fragments d'encrines des Écaussines, que sa structure cristalline et grenue a fait nommer *petit granite*. Ensuite viennent des calcaires gris avec bancs de silex, que couronne le marbre ou *calcaire de Visé*, abondant en *Productus* et auquel est subordonnée une dolomie grise, massive, caverneuse, qui se présente aux environs de Namur en escarpements ruiniformes très pittoresques.

Au-dessus de cet ensemble, dont la puissance atteint un millier de mètres, se développent des schistes noirs très durs, puis des *ampélites* ou schistes très noirs à fossiles marins. Alors apparaît le *terrain houiller*, épais de près de 3000 mètres et contenant jusqu'à 160 couches de houille, d'une puissance variable entre 0^m,40 et 4^m,60. En général, les houilles maigres occupent la base; puis viennent les charbons demi-gras, ensuite les charbons gras, riches en matières bitumineuses et, au sommet, à Mons, les charbons à gaz ou *flénus*. Les schistes qui encaissent la houille sont riches en empreintes végétales, appartenant comme celles d'Angleterre à la zone des *sigillaires*, et non seule-

ment l'étage houiller supérieur, mais tout le permien, font défaut dans la région.

Le terrain houiller de ces contrées a d'ailleurs subi des bouleversements considérables, dont on peut se faire une idée par la figure 59.

Les conglomérats sont absents du terrain houiller d'Angleterre, de Flandre et de Belgique. Rarement le grain des grès y

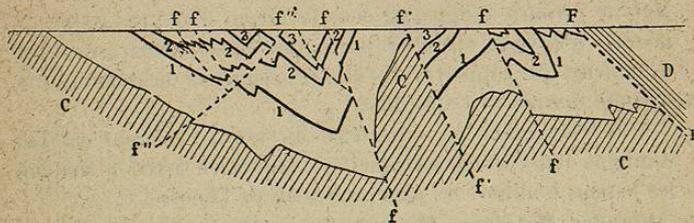


Fig. 59. — Coupe du bassin houiller de Liège — D, schistes dévoniens; C, calcaire carbonifère; 1, 2, veines de houille; 3, couche de grès; F,F, grande faille; f,f, failles secondaires.

atteint la grosseur d'un pois et le plus souvent ces grès sont *psammitiques*, c'est-à-dire schisteux et micacés. La conservation des empreintes végétales dans les schistes est très remarquable.

A plusieurs reprises des couches marines ou saumâtres s'intercalent au milieu des schistes à végétaux terrestres.

Le bassin houiller belge se prolonge, par le Limbourg, jusqu'en Westphalie, où 132 couches de houille, réparties entre 2400 mètres de sédiments, forment 74 mètres de charbon exploitable. Le calcaire carbonifère, qui les supporte, se modifie peu à peu vers l'est par l'intercalation d'assises schisteuses et arénacées.

Bretagne, Bassin de la Sarre, Vosges. — Un changement complet se manifeste lorsque, quittant la bande marine qui longeait le bord du continent boréal, on s'avance vers le sud, où les massifs de la Bretagne, des Ardennes, des Vosges, étaient partiellement ou totalement émergés.

Tandis que, sur les bords du continent armoricain, des calcaires marins anthracifères s'observent à Sablé et à Changé, ainsi que des gîtes d'antracite appartenant au même étage, le

bassin de la Sarre, qui occupe au sud des Ardennes une large dépression parallèle à la chaîne du Hunsrück, ne contient que des éléments d'eau douce, et presque toute la houille y appartient à l'étage houiller supérieur, celui que caractérisent surtout les *fougères*. En outre, le permien y est très développé, avec abondance de *grès rouges* et de *tufs porphyriques*.

Ces mêmes grès rouges et tufs se retrouvent dans les Vosges, où ils contiennent, notamment au val d'AJol, des troncs silicifiés de fougères arborescentes. Dans le voisinage, autour du Ballon d'Alsace, l'étage anthracifère est représenté, sous son facies du *Culm*, par la *grawacke de Thann*, grès verdâtre à empreintes végétales très distinctes de celles de l'étage houiller, et offrant, tantôt des intercalations à coquilles marines, tantôt des brèches à fragments de *porphyrite*, qui établissent son passage à des tufs éruptifs.

Plateau Central. — C'est encore sous le facies détritique du *Culm*, avec rares intercalations calcaires, que se présente l'étage anthracifère aux abords du Plateau Central et du Morvan. On y doit rapporter la *grawacke* et le *grès à anthracite* du Roannais, ainsi que les poudingues et grès à fragments de porphyrite du Morvan. L'époque houillère moyenne, celle des sigillaires, n'a laissé d'autres traces que les grès et schistes stériles de Rive-de-Gier. En revanche, l'époque supérieure, celle des *fougères*, est richement représentée, d'abord par le faisceau houiller de Saint-Étienne, ensuite par les bassins de Decazeville et de Commentry. L'abondance des conglomérats, l'irrégularité des veines de houille, des schistes et des grès, l'absence de tout fossile marin, attestent un régime à la fois continental et beaucoup plus violent que celui qui présidait à la formation des bassins du nord.

Les *schistes bitumineux* d'Autun, riches en huile minérale, avec débris de poissons et de reptiles terrestres, signalent l'aurore de l'époque permienne, qui s'est poursuivie par le dépôt des *grès rouges*, avec marnes schisteuses rouges et vertes, des environs de Brive.

Saxe, Russie, Amérique, etc. — Il ne saurait convenir de décrire ici les différents territoires permo-carbonifères du globe. Nous ajouterons seulement, aux renseignements qui

précèdent, quelques indications relatives aux types les plus remarquables.

A ce point de vue, il importe de signaler la composition du permien dans le nord de l'Allemagne et spécialement dans la Saxe. L'étage débute par une puissante assise d'eau douce, le *grès rouge* ou *rothliegende*, avec empreintes de conifères du genre *Walchia*. Ce grès supporte un schiste bitumineux peu épais, mais remarquable à la fois par ses poissons et par les minerais de cuivre et d'argent dont il est imprégné. C'est le *schiste cuivreux* du Mansfeld. Enfin le retour de la mer est annoncé par le *zechstein*, calcaire dolomitique à faune marine atrophiee, avec importants dépôts de sel gemme, de gypse et d'anhydrite, comme celui de Stassfurt.

En Russie, ainsi que nous l'avons déjà dit, tandis que l'étage anthracifère contient des couches de houille à sa base, l'étage houiller est représenté par des *calcaires blancs*, crayeux, à *fusulines*, qu'on retrouve aussi en Styrie.

Enfin, en Amérique, le bassin des Apalaches et surtout celui de l'Illinois montrent bien la transition du *facies* continental houiller au *facies* pélagique; car de nombreuses couches calcaires à fossiles marins s'y intercalent au milieu des grès et schistes houillers. Plus à l'ouest, dans les Montagnes Rocheuses, toute la formation, depuis l'anthracifère inférieur jusqu'au permien supérieur, se trouve à l'état de calcaires marbres et de grès marins, comme ceux dans lesquels est entaillé le Grand Cañon du Colorado.

Nous terminerons cette rapide énumération en disant que le carbonifère marin est développé au Spitzberg et même à la terre de Grinnel, enfin que la flore anthracifère de l'île des Ours présente les mêmes types végétaux que celle du Culm européen. Comme la flore houillère du Zambèse et celle d'Australie offrent aussi plus d'une espèce connue en Europe, on en doit conclure qu'à cette époque il régnait sur tout le globe une remarquable uniformité de conditions physiques.

§ 6

MODE DE FORMATION DE LA HOUILLE

Structure de la houille. — La formation du combustible minéral est l'événement le plus caractéristique de la période permo-carbonifère. Bien que le même phénomène se soit reproduit à d'autres époques, jamais il n'a affecté une pareille ampleur. Aussi convient-il de s'arrêter un instant sur les circonstances qui l'ont déterminé.

La houille est une substance franchement minérale, insoluble dans les hydrocarbures et n'offrant en général, au premier aspect, aucune trace d'organisation. Cependant le microscope et certains réactifs chimiques y décèlent des cellules végétales, toujours plus ou moins comprimées et, dans les gisements du centre de la France, il arrive souvent qu'on y puisse reconnaître, à l'œil nu, des troncs aplatis de fougères arborescentes ou d'autres arbres, des écorces et des feuilles de *Cordaites*, *Calamodendron*, etc. Par des observations de ce genre, on a réussi à établir¹ que chaque couche de houille était formée de résidus végétaux, à divers degrés de désorganisation, comprenant des tiges, des écorces, des rameaux, des feuilles, et que tous ces débris étaient *posés à plat*, se recouvrant les uns les autres, comme des matériaux qui ont flotté librement dans un liquide. Aux éléments végétaux encore discernables est associée une substance amorphe, *humique* ou *ulmique*, semblable à celle qu'on obtient en soumettant, à l'action de la chaleur et de la pression, le sucre, l'amidon, les gommes et autres produits dérivés des végétaux.

Caractère sédimentaire de la houille. — D'autre part, la houille se présente en véritables couches, souvent d'une merveilleuse régularité, encadrées au milieu de strates argileuses et arénacées, dont l'origine sédimentaire ne peut faire l'objet d'aucun doute. Les schistes charbonneux dans lesquels le combustible est encaissé sont des argiles remplies de menus débris végétaux, et il y a bien des couches de houille qui, par leurs

1. Grand'Eury, *Flore carbonifère de la Loire*.

impuretés, établissent un passage graduel entre ces schistes dits *bitumineux* et le combustible minéral proprement dit.

Ces passages sont surtout fréquents dans les bassins lacustres du centre de la France. Les études faites à Commentry¹, où l'ampleur des exploitations à ciel ouvert offrait à l'observation des facilités exceptionnelles, ont montré que la houille de ces régions était une *alluvion végétale*, versée dans l'eau d'un lac par les eaux torrentielles qui dégradèrent les pentes avoisinantes. Tandis que les galets et les graviers tombaient à la tête du talus de déjection, les matières argileuses étaient entraînées plus loin et les débris végétaux plus loin encore, sous une

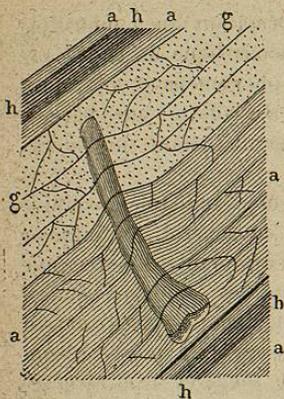


Fig. 60. — Tige fossile dans le terrain houiller d'Anzin. — a, argile schisteuse; g, grès; h, houille et schiste bitumineux.

moins inclinasion. Les tiges, charriées lors de ces débâcles, tantôt se déposaient à plat, tantôt échouaient au milieu des graviers, dans toutes les positions possibles, même verticales (fig. 60). Ainsi s'explique l'abondance, au milieu de certains grès houillers, de tiges dressées de *Calamites*, ordinairement dépourvues de racines et de feuilles et qu'on avait autrefois considérées, mais le plus souvent à tort, comme des arbres ayant vécu à la place même où l'on observait leurs restes.

Les couches de houille sont toujours superposées à des schistes argileux, jamais à des grès. C'est une raison de plus pour y voir le résultat d'une *préparation mécanique*, qui a groupé au sein de l'eau, suivant leurs densités respectives, les matières entraînées par ruissellement. Cette préparation a été plus ou moins complète suivant la violence du régime des eaux et, de cette manière, tantôt les fines parcelles végétales sont restées intimement mélangées à l'argile, donnant de sim-

1. Par M. H. Fayol

ples *schistes bitumineux*, tantôt la couche de débris végétaux, bien séparés des matières terreuses, s'est régulièrement étalée avec une épaisseur uniforme, tantôt elle a formé, au milieu des sédiments vaseux, des amas inégaux, donnant naissance à des couches de houille en *chapelet*, c'est-à-dire pourvues de renflements et d'étranglements. D'autres fois, un apport violent de matériaux en aura recouvert un autre, de formation plus tranquille, et, à partir d'un certain point, les deux couches végétales se montreront appliquées l'une sur l'autre et confondues, tandis qu'en deçà elles seront séparées par un intervalle stérile, comme si une couche unique s'était dédoublée.

De cette manière, au lieu d'exiger pour sa formation un grand nombre d'années (comme on l'admettait dans l'hypothèse d'une végétation décomposée sur place), chaque couche de houille aurait pu être le produit d'une seule inondation, capable de déposer, à côté, plusieurs mètres de graviers et de vases. Seulement la transformation des végétaux en houille se serait accomplie ultérieurement, par décomposition lente, à l'abri de l'air. Du reste cette transformation elle-même ne paraît pas avoir exigé de longs siècles; car certains bassins du centre de la France renferment, dans leurs conglomérats, des *cailloux de houille* bien définie. La minéralisation des couches de débris végétaux était donc pleinement accomplie à la base du bassin, quand les sédiments de la partie supérieure se sont formés.

Conditions des bassins maritimes. — L'hypothèse de la formation de la houille par flottage, qui explique toutes les particularités des bassins lacustres et, notamment, le passage progressif de certains conglomérats à des couches de houille réglées, paraît devoir être étendue aussi aux gisements de la grande bande septentrionale européenne. En effet, dans ces derniers, le caractère sédimentaire des dépôts est encore mieux accusé, et les éléments des lits de charbon de terre sont les mêmes, quoique à un état de division plus avancé. Mais ce fait, joint à l'absence des conglomérats et même des grès grossiers, prouve seulement que les eaux étaient animées d'une moindre vitesse et que le dépôt se faisait à une plus grande distance du lieu d'origine des matériaux. Cela se comprend sans peine,