

**Détermination du carbone et de l'hydrogène
dans les schistes houillers ;
Contribution à l'étude de la formation de la houille.**

(Annales de la Société géologique de Belgique, t. XIV, Mémoires, 1887.)

On a été d'accord, dès longtemps, pour reconnaître à la houille une origine végétale. Les idées émises de temps en temps, par quelques savants, lui attribuant une nature minérale ou volcanique, n'ont jamais pu acquérir droit de cité.

Mais si le point de départ de nos gisements de charbon est aujourd'hui hors de doute, il n'en est pas de même de la question de savoir comment a eu lieu l'accumulation énorme de matières végétales en dépôts alternant avec des schistes et des grès et surtout comment, une fois cette accumulation opérée, s'est effectuée la transformation des matières végétales en une masse dont les propriétés physiques et chimiques sont si différentes de celles des plantes ?

Il serait sans objet de rappeler les différentes théories qui ont été proposées en réponse aux importantes questions qui se posent ici, tant au point de vue géologique que sous le rapport chimique.

Ce travail a été fait plus d'une fois, et il n'y a pas longtemps encore, de main de maître, par M. Grand-Eury (*) ; mais je me propose de toucher un point qui ne paraît pas avoir fixé assez l'attention jusqu'aujourd'hui, bien que, cependant, il soit en état de nous fournir quelques renseignements utiles, non seulement pour la géologie théorique, mais encore pour la géologie pratique, voire pour son application à l'exploitation des couches de houille. Je veux parler de

(*) *Annales des Mines*, mars-avril 1882.

la variation que présentent les roches encaissant les houilles, en composés carbonés, tant au mur qu'au toit, à mesure qu'on s'éloigne de la couche qu'elles enserrent.

En mentionnant seulement les deux théories les plus généralement reçues sur la formation des importants gisements qui nous occupent, j'aurai assez l'occasion de montrer la raison de ce travail.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

La transformation des végétaux en houille, au sein des eaux de la mer, devant être écartée parce qu'on n'a jamais observé, avec certitude, la présence de plantes marines fossiles, il reste à admettre, ou bien que l'accumulation des végétaux s'est faite, sur place, par voie de tourbage, ou bien qu'elle a été produite à la suite d'inondations périodiques, qui auraient arraché arbres et plantes des versants des montagnes ou des collines pour les précipiter dans des bas-fonds d'une étendue considérable.

Dans l'un et dans l'autre cas, à une époque donnée, la période d'accumulation des végétaux aurait été suivie d'un dépôt de matières terreuses ou sableuses, origine des schistes ou des grès houillers. La puissance des stampes comprises entre les couches de houille devait se trouver nécessairement en relation avec la durée et l'abondance de ces dépôts.

Il est difficile de dire laquelle de ces théories a le plus de probabilité d'exactitude, si l'on se borne à chercher les renseignements exclusivement dans les couches de houille elles-mêmes.

A première vue, l'accumulation des matières végétales par l'effet des inondations, a, sur la théorie du tourbage, l'avantage de mieux faire comprendre pourquoi les couches de houille manquent d'homogénéité. Elles sont composées de lits, ou plus exactement, de feuillets, de composition diverse, parmi lesquelles on trouve, presque toujours, des feuillets de schiste (havage). En un mot, tout, dans leur caractère d'ensemble, paraît parler en faveur d'une formation analogue à celle des couches des terrains neptuniens.

Cependant, la stratification des couches de houille n'est pas exclusive du tourbage. Il suffit, pour s'en assurer, d'observer nos tourbières modernes. A peu d'exceptions près, elles montrent également une disposition par couches alternatives. Tantôt la masse

charbonneuse est plus abondante, tantôt encore les dépôts terreux sont plus accentués. A la vérité, pour expliquer cette sorte de stratification, on a invoqué aussi les inondations périodiques, ou tout au moins les variations dans le degré d'humidité du sol, qui ont modifié la végétation d'une manière plus ou moins profonde.

Si l'examen des couches de houille ne suffit pas pour nous renseigner sur leur mode de formation, il est naturel de porter les investigations ailleurs. A cette fin, nous allons nous demander si, en se plaçant au point de vue de l'une ou de l'autre théorie, on doit arriver à admettre une composition différente, en carbone et en hydrogène, pour les schistes du mur ou du toit d'une couche, à mesure qu'on s'éloigne de celle-ci.

Dans la théorie de l'accumulation par inondation, l'amoncellement brusque des matières végétales a dû se faire très probablement sur un sol humide, mais qui devait être certainement le support d'une végétation plus ou moins vigoureuse depuis un temps notable. En d'autres termes, le mur de la future couche de houille devait être comme imprégné, jusqu'à une certaine profondeur, de matières végétales.

Quant aux terres qui se sont déposées, sous forme d'alluvion, au-dessus du dépôt puissant de matières végétales destinées à devenir de la houille, elles ont dû attendre longtemps avant de se couvrir d'une végétation nouvelle, non pas seulement parce qu'il résulte de la puissance même de leurs couches que la période d'inondation a dû être très longue, ou pour d'autres motifs encore, faciles à reconnaître, mais surtout à cause de leur composition chimique. Je m'explique.

Dans notre terrain houiller, au moins, les schistes qui sont appliqués sur la houille, ou voisins de celle-ci, fournissent presque toujours, quand ils sont délités par l'action des eaux et d'une congélation répétée, une terre plastique très dure et qui oppose à la végétation une résistance incroyable. Les célèbres amas de terre plastique des environs d'Andenne sont considérés comme provenant du délitement de ces schistes houillers. Notre confrère, M. Max. Lohest, m'a dit avoir essayé de faire pousser dans ces terres diverses espèces végétales, des graminées, etc., mais sans aucun résultat.

Ainsi, on doit le reconnaître, en faisant la part de ce que notre raisonnement, tout à priori, doit avoir d'incomplet et de trop absolu,

on arrive néanmoins à conclure que la première théorie a pour conséquence de porter à admettre une plus grande quantité de matières végétales dans le mur que dans le toit des couches de houille ; au moins dans les temps qui ont suivi immédiatement la formation des dépôts.

En fait, aujourd'hui, les schistes du toit sont aussi noirs que ceux du mur, et cela, sur une grande épaisseur, bien que l'on trouve parfois aussi, cependant, d'après M. Grand-Eury, des roches encaissant la houille presque dépourvues de matières charbonneuses. Il s'agira donc de trouver l'origine de cette imprégnation de carbone et de montrer comment elle peut aussi faire défaut.

Dans la théorie de la formation des couches de houille par tourbage, on arrive à une conclusion opposée en partie à celle qui vient d'être indiquée.

Le mur de la future couche de houille, lequel a servi de support à la tourbière, doit, à la vérité, ici comme tantôt, contenir une quantité de matière carbonée d'autant plus grande que l'on se rapproche plus de la couche de houille, car elle a dû contenir les mille racines et radicelles des plantes de la période houillère ; mais pour le toit, on arrive à un autre résultat. Il est, en effet, plus en harmonie avec le procédé du tourbage d'admettre qu'ici, il n'y a pas eu de changement brusque et par conséquent rapide dans les phénomènes naturels ; mais la végétation a dû être enrayée progressivement par un changement lent des conditions extérieures. Les alluvions déposées, non par une inondation profonde, mais par une submersion successive, ont pu conserver, pendant longtemps, le degré de mobilité indispensable à une certaine végétation. A la longue seulement, celle-ci a dû céder devant l'arrivée de plus en plus marquée des matières terreuses.

De cette façon aussi, le toit de la couche de houille doit sans doute être plus riche en matières carbonées que le mur et cette abondance doit diminuer à mesure que l'on s'éloigne de la couche.

Mais plaçons-nous maintenant à un autre point de vue, afin de combler, dans la mesure du possible, les lacunes des considérations précédentes.

Il s'agit de répondre à la question de savoir comment, dans l'une et dans l'autre des deux théories, on explique la transformation des matières végétales en houille.

La nécessité de cette explication se fait surtout sentir dans la

théorie des accumulations par inondations périodiques. Ici, en effet, les eaux ne nous ont fourni qu'un amas considérable de bois, d'écorces et de feuilles, tandis que, dans le procédé du tourbage, la transformation des matières organisées est, pour ainsi dire, connexe de leur dépôt et, en outre, le spectacle de ce qui se passe dans nos tourbières actuelles nous prépare mieux à suivre les progrès de la conversion en houille.

Si l'on compare la composition moyenne de la houille et des matières végétales, on trouve que celles-ci, pour passer à celles-là, doivent abandonner une notable quantité d'hydrogène ou, plus exactement, de matières hydrogénées : des hydrocarbures ou de l'eau. On ne doit pas oublier non plus la formation très probable d'une notable quantité d'anhydride carbonique.

Ainsi, tandis que les matières végétales renferment de 44,5 à 50,9 % de carbone et de 6,2 à 6,5 % d'hydrogène, la houille de composition moyenne contient (*), sans cendres bien entendu, 91,55 % de carbone et 4,45 % d'hydrogène. Si l'on rapporte ces quantités à l'hydrogène, on trouve :

Matières végétales	7,6
Houille	20,5

c'est-à-dire que, relativement à la même quantité d'hydrogène, il y a 20,5 : 7,6 = 2,7 fois plus de carbone dans la houille.

A quel procédé est due cette diminution de la quantité d'hydrogène ?

Ici encore on se trouve en présence de deux explications. Ou bien les plantes se seraient transformées successivement en tourbe, lignite, houille, voire en anthracite, ou bien la matière organique serait passée directement dans l'état actuel sans passer par les phases intermédiaires.

La dernière manière de voir s'appuie principalement sur des expériences de laboratoire dues à M. Frémy (**). Elles montrent que si l'on soumet des matières végétales, à la fois, à une pression

(*) Nos considérations étant indépendantes de la teneur en azote, soufre, etc., il est sans utilité de tenir compte de ces corps dans le calcul.

(**) *Comptes rendus*, t. LXXXVIII, p. 1048.

considérable et à une température de 200 à 500°, pendant un temps suffisamment long, elles abandonnent de l'eau, des acides, des gaz, des matières goudronneuses et deviennent noires et cassantes. Le résultat est surtout complet si les matières végétales renferment, à l'origine, des hydrates de carbone différents de la cellulose, des sucres, de l'amidon, ainsi que de la chlorophylle, des graisses et des résines, bref des matières dont la présence est constante dans les végétaux. Alors on obtient des masses semblables à la houille. Elles sont noires, brillantes; souvent fondues, absolument insolubles dans les liquides neutres, acides ou alcalins; en les chauffant au rouge, elles dégagent de l'eau, des gaz, des goudrons et laissent, comme résidu, un coke brillant. L'analyse démontre enfin une composition présentant la plus grande analogie avec celle de la houille. La disparition de la texture organisée des végétaux serait due à une transformation préalable de la cellulose en diverses sortes d'acide ulmique sous l'influence des agents atmosphériques et de ferments spéciaux. Cette opinion s'appuie sur le fait que des acides ulmiques extraits de la tourbe, et chauffés pendant deux cents heures sous pression ont fourni des masses de l'aspect de la houille dans laquelle la quantité relative de carbone avait beaucoup augmenté.

En résumé, le procédé de la transformation des végétaux en houille comprendrait d'abord une fermentation ulmique ayant pour effet de détruire la structure organisée des plantes, puis, une action de la chaleur et de la pression qui aurait produit la houille aux dépens des matières ulmiques et autres (corps gras, etc.).

Il y a une objection fondamentale, nous semble-t-il, à faire à la théorie de M. Frémy; c'est que très probablement la température du terrain houiller ne s'est jamais élevée, dans la suite des temps, à la hauteur voulue par les expériences du célèbre chimiste français (200 à 500°): rien n'est moins établi, d'autre part, que le temps ait pu suppléer au défaut de chaleur.

Quoi qu'il en soit, si nous appliquons cette théorie à la transformation des matières végétales en houille, soit dans l'hypothèse d'une accumulation par voie d'inondation, soit dans l'hypothèse du tourbage, on arrive à la conséquence que les matières goudronneuses (hydrocarbonées) produites pendant la transformation ont dû être absorbées par le mur et par le toit, tandis que les gaz ont pu se

diffuser vers l'atmosphère. Mais dans cette imprégnation, il a dû se produire nécessairement aussi comme un classement dans les diverses espèces chimiques dont le goudron n'est qu'un mélange. Les plus mobiles, c'est-à-dire les plus volatiles ou les plus riches en hydrogène, ont dû cheminer plus loin, et les plus fixes, s'arrêter plus près de la couche de houille en formation. En outre, la chaleur nécessaire au procédé Frémy devant être venue de l'un ou de l'autre côté de la couche de houille, l'imprégnation du mur et du toit ne saurait être égale.

On le voit, cette théorie écarte la difficulté que nous avons rencontrée pour expliquer la présence de matières carbonées, plus ou moins abondantes, au toit d'une couche de houille, dans l'hypothèse d'une accumulation de matières végétales par inondation. En outre, elle conduit à une vérification par l'expérience.

En effet, les choses étant comme nous les avons supposées, il faut, dans le cas où cette théorie serait exacte, que des échantillons de schiste houiller, prélevés en des lieux équidistants, mais s'éloignant de plus en plus de la couche de houille, renferment des quantités de carbone et d'hydrogène variant d'une manière déterminée. A mesure qu'on s'éloigne de la couche de houille, le schiste doit renfermer de moins en moins de carbone et de plus en plus d'hydrogène; de plus, la diminution du carbone — ou l'accroissement de l'hydrogène — doit avoir lieu suivant les lois générales qui régissent les tensions de dissociation dans les phénomènes chimiques.

Si nous examinons, à présent, la théorie de la formation de la houille par phases successives, nous arriverons à un autre résultat.

Soit dit en passant, cette seconde théorie a beaucoup plus de probabilité d'exactitude que la première: elle tient compte de faits que la première méconnaît, à savoir que la houille a conservé, d'une manière persistante, une texture organisée. Ce fait a été mis hors de doute par les beaux travaux exécutés par M. Schulze en 1855, à Rostock, ainsi que par ceux, plus récents, de M. C.-W. v. Gumbel (*).

M. Schulze avait montré que si l'on traite des fragments de houille par du chlorate de potassium et de l'acide azotique d'abord, puis par

(*) *Sitzungsber. der math. phys. Classe der K. B. Akad. der Wissenschaften*, XIII, 141, 1883. (Extraits dans le *Naturforscher*, t. XVI, p. 317, 1883.)

de l'ammoniaque, on obtient une membrane celluleuse, tout à fait transparente et propre à un examen microscopique immédiat.

M. v. Gümbel a supprimé le traitement par l'ammoniaque et examiné à l'aide du microscope la masse brune obtenue à la suite de l'action du chlorate de potassium et de l'acide azotique ; seulement, pour arriver à constater sa texture organisée délicate, il éloigna la plus grande partie de la matière colorante brune au moyen d'alcool absolu. En passant successivement en revue, non seulement les diverses espèces de houille, mais encore la tourbe, puis les charbons quaternaires et tertiaires, jusqu'à l'antracite, il a constaté que, dans chacune de ces formations, on pouvait retrouver la texture organisée des plantes dont elles proviennent. La houille consiste, abstraction faite des matières terreuses qui l'accompagnent, en fragments de plantes qui, transformées elles-mêmes en une matière carbonée, contiennent dans leurs intervalles une substance ulmique, primitivement soluble, mais devenue insoluble avec le temps, de sorte que le tout paraît amorphe et sans texture. Cette absorption d'une matière carbonée, soluble à l'origine, et sa transformation en une masse solide devenue de plus en plus dure avec le temps, s'est accomplie d'une manière analogue à la pétrification, avec cette différence, toutefois, que les matières ulmiques provenaient des amas de plantes elles-mêmes, tandis que l'acide silicique des pétrifications venait du dehors.

Ces modifications des amas de végétaux paraissent s'être produites sans le secours d'une grande pression, ni d'une température élevée. La faible altération des tissus des plantes n'a donc rien d'impossible.

On le voit, ici il ne peut plus être question d'une production de goudrons en quantité suffisante pour imprégner, au besoin, les roches encaissantes.

L'enrichissement en carbone doit s'être opéré par une combustion de plus en plus prononcée de l'hydrogène des matières ulmiques sous l'influence de l'oxygène amené en solution dans les eaux et, en outre, par l'acte de fermentation bien connu qui a pour résultat la production du méthane ou gaz des marais. L'hydrogène a donc été éliminé, soit sous forme d'eau, soit sous forme de sa combinaison la moins riche en carbone.

En nous plaçant dans cet ordre d'idées, les matières qui teignent si fortement en noir les schistes houillers au voisinage de la houille pourraient n'être rien autre chose que des substances houillères elles-mêmes.

Le procédé de formation de la houille se serait également accompli là, mais en présence d'une quantité incomparablement plus grande de matières minérales, aux dépens des substances végétales qui s'y trouvaient enfouies. De la sorte, les schistes houillers noirs seraient à assimiler à une houille plus riche en cendres.

S'il en est bien ainsi, des échantillons de schiste, prélevés comme nous l'avons dit plus haut, pourront encore accuser une diminution de la teneur en carbone, d'un fragment à l'autre, mais, cette fois, la quantité d'hydrogène ne devra plus varier comme nous l'avons dit. Bien mieux, le rapport de l'hydrogène au carbone devra refléter en quelque sorte la valeur qu'il a dans la houille elle-même.

En résumé, une détermination simultanée du carbone et de l'hydrogène dans les schistes voisins des couches de houille peut nous renseigner sur la question de savoir si les substances hydrocarbonées qu'elles renferment, proviennent d'une imprégnation de matières issues de la houille en voie de formation, ou bien si elles sont dues, comme la houille elle-même, à une transformation sur place, de débris végétaux qui ont été emprisonnés à l'époque du dépôt de ces couches de schiste. Ces connaissances sont utiles, puisqu'elles peuvent jeter quelque clarté sur le mode de formation de la houille. Elles nous diront si l'on doit préférer la théorie des inondations à la théorie du tourbage pour l'accumulation des matières végétales, et si la transformation des matières végétales en houille a été accompagnée d'une sorte de distillation sèche de matières goudroneuses (Frémy), ou bien si elle s'est produite à la suite d'un durcissement par oxydation des matières ulmiques formées à la suite d'une fermentation spéciale des végétaux (Gümbel).

RÉSULTATS.

Je le dirai dès maintenant, le résultat des analyses vient à l'appui de la théorie du tourbage ; on le verra par la suite. En outre, comme il arrive souvent, on a pu observer un fait imprévu dans les considérations précédentes, savoir que les schistes houillers chargés de matières végétales doivent avoir été le siège de phénomènes d'oxydation lente ayant eu pour effet de les dépouiller de plus en plus de leurs matières hydrocarbonées parce que l'attaque était portée d'une manière plus sensible sur l'hydrogène. Cela étant, on peut dire que

ces schistes doivent avoir servi à la houille d'enveloppe protectrice, non seulement contre les ravages des eaux, mais encore contre l'action destructive de l'oxygène, soit à l'état de gaz, soit à l'état de solution. L'action de l'oxygène s'épuisait dans les combustibles des schistes et ne parvenait pas à la houille. Au moins devait-il en être généralement ainsi.

Peut-être est-il permis de trouver une confirmation de ce que je viens d'énoncer dans le fait banal que, si des matières végétales restent exposées à l'action de l'air humide, elles finissent par se consumer complètement. De la sorte, la formation de la houille se trouverait subordonnée à une diminution d'activité chimique suffisante de l'oxygène de l'air. Elle ne pourrait avoir lieu qu'en vase pour ainsi dire clos.

En fait, comme les roches encaissant les couches de houille ne sont pas identiques entre elles mais forment une couverture plus ou moins appropriée, on doit rencontrer des différences de propriétés dans la houille, non seulement dans une même couche, mais surtout d'une couche à une autre. C'est bien ce que l'on observe. On peut d'ailleurs se rappeler aussi que, presque toujours, les houilles maigres occupent les parties périphériques d'un bassin houiller, tandis que les couches de houille grasse se trouvent dans les régions du milieu. Ne serait-ce pas parce que, là, elles ont été mieux protégées contre l'action de l'oxygène? De sorte que le procédé d'oxydation décelé par l'analyse dans les schistes entourant une couche, s'exercerait, *mutatis mutandis*, à travers tout le bassin houiller.

ANALYSE DES SCHISTES.

PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS DE SCHISTES.

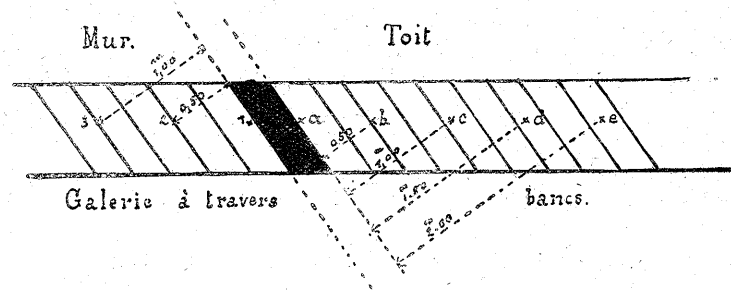
M. A. Cocheteux, ingénieur civil des mines, a bien voulu prélever pour moi les échantillons de schiste nécessaires à ce travail. Il me sera permis de lui réitérer ici mes remerciements pour la peine qu'il a bien voulu se donner.

Les prises d'essai proviennent du charbonnage de Saint-Gilles, à Liège, et appartiennent à la couche dite Gosmin. Elles sont au nombre de neuf, en y comprenant une prise de la couche de houille.

Cinq d'entre elles proviennent de la région du toit de la couche et trois de la région du mur.

Les échantillons ont été prélevés dans une galerie à travers bancs, de 0^m50 en 0^m50, à partir de la couche Gosmin, de manière à comprendre, sur le toit et sur le mur de la couche, une prise dans le schiste directement appliqué sur la houille.

Le croquis suivant indique d'ailleurs d'une manière claire les lieux de prélèvement.



Les échantillons du mur ont été marqués : 1, 2 et 3; ceux du toit : a, b, c, d et e. On conservera ces signes dans la suite.

On a pulvérisé une quantité suffisante de chacun des échantillons pour avoir, autant que possible, la composition moyenne des schistes.

Après avoir desséché les poudres à 120°, on y a dosé le carbone et l'hydrogène par la méthode généralement suivie dans l'analyse organique élémentaire, c'est-à-dire en les brûlant dans une nacelle en porcelaine au moyen d'un courant d'oxygène et en obligeant les produits de la combustion à passer par une colonne de chromate de plomb et d'oxyde de plomb chauffée au rouge, afin d'achever la combustion de l'oxyde de carbone qui aurait pu se produire d'abord et de retenir l'anhydride sulfureux provenant des matières sulfurées des schistes. L'eau et l'acide carbonique étaient ensuite retenus respectivement dans un appareil à chlorure de calcium et dans un appareil à potasse, puis pesés.

On a procédé aussi à l'analyse des cendres des schistes, afin d'être renseigné sur la question de savoir si la composition minérale différait d'un échantillon à l'autre.

La teneur en silice (Si O^2), en oxyde d'aluminium ($\text{Al}^2 \text{O}^3$) et en

oxyde ferrique ($Fe^2 O^3$) a été trouvée, sensiblement, la même. Les différences, comportant au maximum quelques unités pour 100, ne sont pas assez grandes pour obliger à dire que les schistes variaient vraiment dans leur composition minérale.

Voici d'ailleurs, à titre de renseignements, leur composition moyenne :

Si O^2	66,7
Al $^2 O^3$	20,2
Fe $^2 O^3$	11,6
Autres matières	1,5 (par diff.)
	100,0

Ceci posé, examinons les résultats des dosages du carbone et de l'hydrogène.

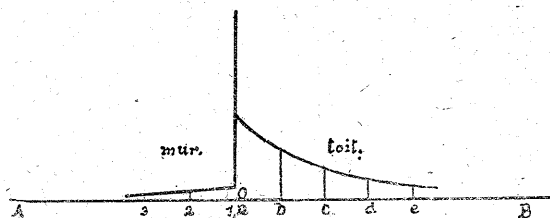
Voici le tableau général des analyses :

	HOUILLE	TOIT					MUR		
		a	b	c	d	e	1	2	3
Carbone . .	86,61	7,54	3,35	2,21	1,20	0,70	0,99	0,93	0,80
Hydrogène.	4,65	0,79	0,62	0,54	0,56	0,59	0,84	0,53	0,58
Cendres . .	1,84	88,33	92,05	93,06	92,00	94,08	95,16	93,50	93,20
O, S, etc., par diff. . . .	4,90	3,34	3,98	4,19	6,24	4,63	3,01	5,04	5,42
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

On le voit, en ce qui concerne la teneur en carbone, la composition varie fortement d'un échantillon à un autre, mais d'une manière régulière. Si l'on compare le toit de la couche au mur, on trouve environ sept fois plus de carbone dans le premier que dans le second. Ensuite, dans chacune de ces régions, le carbone diminue à mesure que l'on s'éloigne de la couche de houille.

On peut rendre la loi de cette diminution visible en relevant sur une courbe les nombres du tableau précédent.

Pour cela, portons sur un axe horizontal AB (voir ci-dessous) des distances égales à partir d'une origine O et marquons-les par a, b, c, d, e et 1, 2, 3; elles figureront les lieux de prélèvement des échantillons de schiste relativement à la couche de houille, dont la place sera ainsi fixée en O.



Élevons en ces points des perpendiculaires à AB et portons sur celles-ci des grandeurs proportionnelles aux quantités de carbone trouvées pour a, b, c, etc.; en reliant les extrémités de ces perpendiculaires par une ligne, on aura la courbe qui exprimera la variation des quantités de carbone.

Du côté du mur la courbe se rapproche beaucoup d'une droite; en outre, les quantités absolues de carbone sont trop faibles pour permettre de tirer une conclusion plausible sur leur variation. Passons donc.

Du côté du toit, au contraire, les quantités de carbone varient sensiblement, du simple au double pour les divers points équidistants. La courbe a donc, à très peu près, une signification géométrique : elle appartient à la famille des logarithmiques. Elle exprime, par conséquent, que la cause qui a produit la diminution du carbone est en fonction inverse de la distance à l'origine, c'est-à-dire à la couche de houille.

Cette allure du phénomène semble, à première vue, démontrer que les schistes du toit se sont imprégnés de matières charbonneuses aux dépens de la houille qu'ils couvrent, comme si cette dernière avait émis, par suite d'une espèce de distillation sèche, des produits carbonés de volatilité diverse : les plus volatils auraient pu cheminer plus loin à travers les schistes, tandis que les autres auraient dû s'arrêter plus près de la houille.

La théorie de M. Frémy conduit à cette conclusion. Mais nous

avons déjà fait observer plus haut que, s'il en est ainsi, la quantité d'hydrogène qui accompagne le carbone aux points *a, b...e* doit aller continuellement en augmentant. Il est donc nécessaire de porter notre attention de ce côté.

En comparant les nombres figurant sous le titre *hydrogène*, dans le tableau des analyses, aux quantités respectives de carbone, on voit immédiatement qu'ils sont en dehors de toute proportion avec le rapport de l'hydrogène fourni par la houille.

Il y a même plus, ils conduisent simplement à une impossibilité chimique. En effet, si l'on calcule pour l'un des échantillons de schiste, par exemple pour le dernier *e*, le rapport atomique des éléments C et H, on arrive très près de CH^{10} qui montre à l'évidence que l'hydrogène ne peut pas être exclusivement combiné au carbone. Pour les échantillons de schiste plus riches en carbone, on obtient, bien entendu, d'autres rapports, mais les conclusions restent les mêmes : ainsi, pour *a* on a encore C^8H^{10} , tandis que la houille donne sensiblement $C^{16}H^{10}$.

La raison de cette anomalie provient de ce que les schistes houillers renferment de l'eau d'hydratation qui ne se dégage pas à 120°, mais qui vient s'ajouter dans l'analyse à l'eau provenant de la combustion des matières hydrocarbonées.

Les quantités d'hydrogène provenant des matières hydrocarbonées étant très petites, il ne pouvait être question de les déterminer par différence après avoir dosé l'eau d'hydratation par une des méthodes généralement pratiquées. On eût été exposé à commettre des erreurs de nature à fausser le résultat final. Il est facile de s'en convaincre. En effet, dans l'hypothèse où le rapport du carbone à l'hydrogène (hydrogène carboné) serait le même dans les schistes et dans la houille, on peut calculer à quelle proportion pour cent doit se trouver l'hydrogène. On obtiendrait, pour le schiste *e*, par exemple, la quantité 0,056 %; il serait donc illusoire de procéder à une analyse dans les conditions mentionnées.

Mais on peut éliminer la difficulté. Il suffit de dégager la matière hydrocarbonée, autant que possible, de sa gangue minérale en dissolvant celle-ci dans de l'acide fluorhydrique. Quand l'enrichissement en matières charbonneuses est achevé, on détermine directement, par l'analyse élémentaire, comme on l'a fait pour la houille, le rapport du carbone à l'hydrogène.

L'acide fluorhydrique, dissous dans l'eau, ne détruit pas, on le sait, les matières hydrocarbonées : même la cellulose résiste très bien. Les filtres lavés à l'aide de cet acide et dont on fait maintenant un usage général dans les laboratoires parce qu'ils ne laissent pas de cendres, prouvent suffisamment que l'emploi de l'acide fluorhydrique ne peut modifier le rapport de l'hydrogène au carbone. La méthode nous paraît donc à l'abri d'objection.

On pourrait pousser le lavage des schistes au moyen de l'acide fluorhydrique jusqu'à élimination complète des matières minérales. Au point de vue de l'exactitude des résultats de l'analyse, cette condition est même désirable. Cependant, en pratique, on rencontre alors une difficulté insurmontable. En effet, sitôt que les matières minérales ont presque disparu, les substances carbonées apparaissent sous un état de division tel qu'elles ne se déposent plus au sein de l'eau ; elles demeurent opiniâtrément en suspension, comme le fait, par exemple, le *soufre laiteux*. En outre, si l'on essaye de les recueillir sur un filtre, elles le traversent en partie et elles s'appliquent en partie sur celui-ci, de manière à rendre un lavage impossible.

Pour ce motif, nous avons cessé le traitement par l'acide fluorhydrique au moment où la poudre noire obtenue refusait de se déposer au fond des eaux de lavage, après un repos de vingt-quatre heures. On obtient ainsi une matière laissant encore environ 10 pour cent de cendres. Comme elle se rapproche alors beaucoup de la teneur en cendres de la plupart des houilles, elle est en état de donner des résultats analytiques qui, pour n'être pas, à la vérité, d'une exactitude absolue, permettent cependant une comparaison utile.

Voici les résultats de la détermination du rapport du carbone à l'hydrogène exécutée dans ces conditions nouvelles :

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	1	2	3
Rapport C : H. . . .	24,80	30,45	36,00	?	?	19,80	?	?

Le résultat ayant été incertain pour les schistes *d* et *e*, 2 et 3, par suite de l'extrême faiblesse de la quantité d'hydrogène, j'ai préféré ne pas le mentionner.

Pour faciliter la comparaison, on peut rapporter maintenant, par

le calcul, l'hydrogène aux quantités absolues de carbone telles qu'elles figurent dans le premier tableau. On obtient :

	HOUILLE	TOIT					MUR		
		a	b	c	d	e	1	2	3
Carbone. . . .	88,61	7,54	3,35	2,21	1,20	0,70	0,99	0,93	0,80
Hydrogène . .	4,65	0,30	0,11	0,06	?	?	0,05	?	?
Rapport C : H.	19,09	24,28	30,45	36,00	?	?	19,80	?	?

On le voit, cette fois, au mur de la couche, le rapport de l'hydrogène au carbone diffère peu de ce que donne la houille elle-même : 19,80 au lieu de 19,09. On peut en conclure, me semble-t-il, que le mur contient des particules de houille peu altérée.

Les résultats fournis par les schistes du toit sont remarquables : le rapport va continuellement en augmentant, c'est-à-dire que l'hydrogène diminue relativement au carbone.

On ne s'éloigne même pas beaucoup de la vérité en admettant que pour *d* et surtout pour *e*, l'hydrogène n'existe plus en quantité appréciable.

Il résulte nécessairement de là que les prévisions énoncées plus haut ne se vérifient pas : les schistes du toit n'ont pas été imprégnés de matières hydrocarbonées issues de la houille, du moins dans les conditions voulues par la théorie de M. Frémy.

Alors, la transformation des végétaux s'est accomplie plutôt par le procédé ulmique. Au sein des masses marécageuses primitives, les substances végétales ont donné, à la suite d'une fermentation spéciale, des matières ulmiques tout en se carbonisant elles-mêmes, c'est-à-dire, tout en s'enrichissant relativement en carbone. Les matières ulmiques ont imprégné le tout et se sont modifiées et durcies avec le temps sous l'influence des agents extérieurs.

L'accumulation des végétaux par voie d'inondation ne semble pas non plus bien en harmonie avec ce qui précède, car, ainsi qu'on l'a dit plus haut, on s'expliquerait difficilement, dans ce cas, la richesse en carbone des schistes du toit. On se rappelle, en effet, que les alluvions qui ont servi de couverture aux dépôts de végétaux, n'ont

pu être, à cause de leur nature physique, le lieu d'une végétation suffisante. Si l'on est porté à penser que ces alluvions étaient, dès l'origine, encore mêlées de beaucoup de débris de plantes et que leur carbone vient de là, il ne sera peut-être pas superflu de demander s'il pouvait rester encore des plantes sur les versants dénudés et labourés par le flot qui a arraché les végétaux les mieux enracinés.

Tout parle plutôt, je le répète, en faveur de la théorie du tourbage.

Mais revenons encore aux résultats des analyses.

En admettant que les alluvions ont recouvert les tourbières destinées à devenir nos houillères, lentement et non par inondations brusques, on ne voit plus aucune difficulté à admettre qu'elles ont pu être entremêlées d'une quantité plus ou moins forte de matières végétales. Celles-ci ont dû subir le même sort que leurs voisines de la tourbière et passer à l'état de houille. Mais alors, bien que, à la vérité, la quantité de carbone ne soit pas nécessairement la même en tous les points du schiste, on doit cependant trouver partout l'hydrogène et le carbone dans le même rapport : celui de la houille, ou à peu près. Si le contraire s'observe, c'est que des actions étrangères sont venues gêner la transformation en houille ou même s'y opposer. En réalité, les variations constatées dans la teneur en carbone ne sont pas quelconques ou sans ordre, mais elles accusent une diminution graduée avec l'éloignement de la couche de houille. Cette allure ne paraît pas s'accorder avec les hasards de la végétation, ou avec d'autres facteurs qui auraient eu inévitablement pour conséquence une répartition irrégulière du charbon dans les schistes ; elle paraît plutôt l'indice d'une action qui s'est fait sentir d'une manière constante dans la suite des temps.

D'ailleurs, si l'on tient compte aussi de la diminution plus rapide de l'hydrogène, on se persuadera sans peine que le dépouillement des schistes ne peut pas être le résultat d'une action mécanique ou physique, mais que les forces chimiques ont dû intervenir. Alors seulement on concevra comment des corps hydro-carbonés se sont transformés par la perte plus grande de l'un de leurs éléments.

Tout paraît s'accorder pour montrer qu'il doit s'être passé, dans ces alluvions, avant, ou peut-être après leur transformation en schistes, un phénomène d'oxydation lente sous l'influence de l'humidité et grâce à la porosité relative des matières minérales. L'oxygène aura agi d'une manière plus active sur l'élément pour lequel il a le

plus d'affinité : l'hydrogène. Il l'aura enlevé en plus grande quantité, et, en dépouillant les matières végétales en voie de transformation houillère, il les aura fait passer à l'état de charbon de plus en plus pauvre en composés propres à fournir des gaz, pour l'amener lentement peut-être jusqu'à l'état d'anhracite.

Il est clair que, dans ces conditions, le dépouillement des matières hydro-carbonées devait se faire en fonction inverse de la profondeur, en d'autres termes, cette action peut se représenter par une courbe logarithmique. C'est bien ce que nous avons trouvé.

D'après cela, la formation et la conservation d'une houille à gaz abondants n'ont pu avoir lieu, à travers les âges géologiques, que si elle se trouvait suffisamment protégée contre l'action des agents atmosphériques. Les mille variétés de houille doivent probablement leur origine plutôt à la façon inégale dont elles ont été protégées contre une consommation lente, qu'à une différence dans les espèces végétales dont elles dérivent, ainsi qu'on l'a prétendu souvent. D'ailleurs, n'a-t-on pas constaté qu'à notre époque encore les houilles les plus grasses donnent les dégagements les plus abondants de grisou. Or la présence sous forte tension de ce gaz dont la diffusibilité est si grande, est un témoignage certain de l'imperméabilité des roches entre lesquelles cette houille se trouve enfermée.

Il est superflu, je pense, de faire remarquer en outre que les phénomènes d'oxydation auxquels il vient d'être fait allusion, ont dû nécessairement subir l'influence des alternatives dans les dépôts de tourbe et d'alluvions qui ont eu lieu pendant toute l'époque houillère. Si, en effet, les matières organiques du schiste peuvent protéger la houille que celui-ci recouvre, contre l'action destructive de l'oxygène, *a fortiori* une couche de houille aura aussi un pouvoir protecteur. On serait peut-être renseigné à cet égard si l'on possédait une série aussi complète que possible d'analyses de schistes et de grès houillers, prélevés en travers de tout un bassin. Ajoutons encore que les failles, les cassures et les dérangements nombreux survenus dans le terrain, avant ou après sa consolidation, ont inévitablement eu pour conséquence de rendre moins efficace cette action protectrice, en permettant aux eaux de la surface, chargées d'oxygène, de s'insinuer dans le bassin houiller et de continuer alors leur action chimique.

Ici, comme partout dans la nature, les événements ne se sont pas

accomplis d'une manière simple et uniforme. Aussi s'exposerait-on à verser dans de graves erreurs, si l'on se bornait à vouloir tout considérer en se plaçant à un point de vue trop absolu. Il est sage de se défier des conceptions trop simples, car la nature est plus riche est plus variée que l'imagination la plus brillante ne peut le supposer.

Un mot encore.

D'après les analyses mentionnées plus haut, les schistes du mur de la couche de houille contiennent considérablement moins de carbone que ceux du toit. Il ne sera peut-être pas sans utilité de vérifier si cette remarque est susceptible de généralisation, car on posséderait alors un moyen commode pour distinguer le toit du mur. On sait que cette distinction, qui a souvent une valeur pratique, n'est pas toujours aisée. On objectera peut-être qu'un dosage de carbone présente des difficultés trop grandes. C'est une erreur. Le problème peut être résolu en quelques heures, c'est-à-dire en un temps bien moins long que celui nécessaire pour la réunion des documents indispensables à la solution du problème par la voie de la géologie.