

LES  
CONDITIONS CALORIFIQUES DES TERRAINS A COMBUSTIBLES

PAR

**H. HÖFFER,**

Professeur à l'Académie des mines de Leoben (Autriche) (1).

---

(Extrait de la *REVUE UNIVERSELLE DES MINES*, etc.  
tome VI, 4<sup>e</sup> série, page 159, 48<sup>e</sup> année, 1904.)

---

A l'époque où furent entreprises des recherches sur les catastrophes répétées des thermes de Teplitz, le fait que dans les puits de Bruch, situés à 13 kilomètres au Sud-Ouest, avait jailli, à 350 mètres de profondeur, dans une couche de lignite, une source d'eau chaude à la température de 32° C (2), préoccupa d'autant plus vivement l'opinion publique qu'un géologue expliqua ce phénomène par l'hypothèse d'une fissure donnant naissance à des eaux thermales sous la couche de charbon. Ce fait semblait donc justifier la prétention des représentants des sources thermales d'en étendre le périmètre protecteur jusqu'au delà des puits de Bruch. Alors le bassin entier de Dux-Ossegg, malgré ses excellentes qualités de charbon, eût été abandonné et il en fût résulté une immense perte pour la richesse nationale. Je ne veux pas parler ici des autres difficultés qui surgiraient à propos de cette délimitation, car je l'ai déjà fait dans le Rapport cité en note; je veux seulement appuyer, avec une véritable satisfaction, sur ce que les exploitations dans les couches de Bruch ont atteint

---

(1) Une note sur ce même sujet vient d'être communiquée par l'auteur au meeting de l'*Institution of mining engineers*, tenu à Londres les 2 et 3 juin 1904.

(2) H. HÖFFER. — Rapport sur la prévention de catastrophes thermales à Teplitz et Schœnau. Édité en manuscrit 1894. — Voir *Revue univ. des mines*, 3<sup>e</sup> série, T. XXXVI, p. 242.

une grande extension, sans que l'on y ait découvert la moindre fissure thermique. Mais la couche elle-même possède une grande chaleur propre et c'est pourquoi l'exploitation y exige des précautions spéciales.

Si, dans les puits de Bruch, en supposant la température de la surface égale à 12,5° C, on estime à 32° celle de l'eau de la couche, la profondeur pour laquelle la température augmente de 1°, c'est-à-dire le degré géothermique, ne serait que de 16<sup>m</sup>80, soit seulement de la moitié de la valeur normale déduite de nombreux sondages et d'autres mesures.

Lorsque j'eus l'honneur d'intervenir comme expert dans cette importante question des eaux de Teplitz-Dux, je dus m'occuper des curieuses conditions calorifiques des puits de Bruch, ci-dessus mentionnées, et rechercher l'explication complète de ces conditions calorifiques, vu que la question des mesures de protection y était intimement liée.

Après une étude approfondie, j'en vins à la conclusion que *la haute température de la couche était due à sa chaleur propre et ne provenait pas d'une source thermique interne*. J'ai fondé cette opinion, d'une part, sur ce que dans les puits Döellinger et Victoria, comme je l'ai démontré, les eaux qui y avaient fait irruption n'avaient qu'une température de 17° R ou 21° C et ne pouvaient par conséquent échauffer la couche à 32° C; d'autre part, sur ce qu'à la suite d'une série d'observations sur la température des terrains houillers et surtout lignitifères, j'ai démontré qu'à ces terrains correspond presque toujours un degré géothermique extraordinairement faible, comme c'est d'ailleurs le cas dans différentes formations bituminifères.

---

Cette question, très importante par le rôle qu'elle joue dans la protection des thermes de Teplitz, a été depuis lors approfondie et je suis heureux d'avoir vu se confirmer mes vues personnelles.

C'est actuellement une théorie irréfutable que les couches de charbon proviennent de l'altération de la substance végétale, c'est-à-dire de la cellulose. Les preuves qui en ont été données, ont, depuis des années, érigé cette théorie en principe.

La cellulose se transforme en tourbe, lignite et, en passant par la houille, en anthracite : c'est ce que reconnaissait déjà en 1778

le baron Beroldingen, chanoine d'Hildesheim, et maintenant cette métamorphose progressive, ainsi que l'origine végétale de la houille, sont universellement admises comme vérités indiscutables.

C'est cette transformation que nous appellerons la *carbonification*; nous savons qu'elle est activée par la présence de l'eau et de la chaleur. Nous savons en outre que, dans ce phénomène, les trois constituants essentiels de la houille (C, H et O) éliminent  $H^2O$ ,  $CO^2$  et  $CH^4$ , ce qui, par suite d'une plus forte perte en O et H, produit un enrichissement relatif en C; c'est là ce qui constitue le phénomène de la carbonification. Les différents gaz et vapeurs qui se dégagent, se répandent dans l'atmosphère de la mine. Il semble en outre certain que dans le premier stade de transformation de la cellulose, il se sépare plus de  $CO^2$  que de  $CH^4$ , et que la proportion de ce dernier augmente progressivement au cours de la transformation, comme on peut le conclure de l'analyse des gaz qui se dégagent de la houille.

Les phénomènes thermiques qui accompagnent le processus de la carbonification, n'ont pas, à ma connaissance, été approfondis jusqu'à présent. Ces phénomènes devinrent très importants à mes yeux, à partir du moment où j'acquis la conviction que les hautes températures des couches de Bruch étaient dues à ce phénomène; je me trouvai ainsi en face d'une question de la plus haute importance pour la pratique et très intéressante en théorie.

Il est d'abord évident que, par la formation de  $CO^2$  dans les couches, il se dégage de la chaleur, car tous les phénomènes de combustion sont basés sur la transformation de C en  $CO^2$ . De plus il est un fait, peut-être moins universellement connu: c'est que la formation de  $CH^4$ , au moyen de ses éléments, produit des quantités de chaleur plus grandes encore. D'où je conclus que le phénomène de la carbonification doit constituer une source de chaleur considérable; il m'importait de pouvoir exprimer en chiffres cette quantité de chaleur; c'est pourquoi je posai cette question, si intéressante et si importante au point de vue pratique, à des spécialistes et notamment à M. le directeur F. Toldt, à M. le baron H. de Jüptner et à M. le professeur Dr Ferd. Fischer, de Göttingen.

A ma grande satisfaction, ces autorités confirmèrent l'exactitude de ma théorie, ce qui était d'autant plus intéressant et plus important que chacun de ces trois savants suivit une voie différente qui les conduisit cependant à cette même conclusion : *Par le phénomène de la carbonification, de très importantes quantités de chaleur sont mises en liberté.*

Les quantités trouvées diffèrent cependant dans des proportions assez grandes, ce qui s'explique parce que chacun des trois opérateurs prit, comme type normal, un charbon différent, et parce que, d'autre part, on ne peut déduire avec une certitude complète, de la considération de phases isolées de la carbonification, quels ont été les gaz formés pendant le phénomène et en quelle quantité ils se sont produits. Si l'on voulait obtenir des chiffres concordants, il faudrait procéder à des analyses systématiques des différents charbons et des gaz qui les accompagnent, et suivre en même temps, dans la pratique, un exemple du phénomène dans tout son développement progressif, travail que justifierait d'ailleurs l'importance de la question que nous examinons.

Je publie en annexes deux de ces rapports.

M. le professeur Dr F. Fischer a déjà traité dans ses publications la question que j'ai soulevée (1); la conclusion de cette étude est que la formation du méthane, dans les mines de houille, est toujours en relation avec un développement de chaleur et qu'ainsi s'explique l'accroissement de chaleur dans les couches de combustible.

Les résultats des calculs de M. le directeur F. Toldt sont très intéressants : ils montrent que, par la transformation du bois en 1 kil. de lignite, il se développe 4048 calories et, dans celle du lignite brun en 1 kil. de lignite noir, 1407 calories. Ses calculs montrent aussi que dans la première transformation, se produisent 46,4 vol. % de  $\text{CH}_4$  et 52,4 vol. % de  $\text{CO}_2$ , et dans la seconde, par contre, respectivement 71,2 et 26,3 vol. %, données avec lesquelles concordent en général les analyses de gaz de la houille.

Je renverrai à ce point de vue à une communication que m'a adressée M. l'inspecteur des mines A. Padour, d'après laquelle

---

(1) *Zeitschrift für angewandte Chemie* 1898, 14<sup>e</sup> livraison.

dans la mine Pluto, près de Bruch, les gaz provenant de la couche, dans une région qui n'était encore qu'en partie exploitée, contenaient  $6^m38$  CH<sup>4</sup> et  $5^m37$  CO<sup>2</sup> par tonne de charbon extrait; la différence, d'ailleurs insignifiante, avec les chiffres de M. Toldt, s'explique suffisamment par le fait qu'il s'agit ici d'une transformation plus avancée du lignite dont la composition diffère déjà notablement de celle du bois.

Dans le processus de la carbonification à l'état de lignite, il se dégage environ trois fois plus de calories que dans la transformation ultérieure à l'état de houille; c'est là un fait d'autant plus intéressant et plus important qu'il montre que le phénomène n'a pas une marche uniforme, mais qu'il présente une phase où le développement de chaleur est maximum. C'est dans cette phase ou dans une période voisine que semble se trouver le lignite de la région de Bruch.

Si l'on considère en outre que le temps qui sépare l'époque actuelle de l'oligocène, époque jusqu'à laquelle s'étendent nos formations de lignites, est certainement beaucoup moindre que le temps qui sépara l'oligocène du carbonifère, on en conclut qu'il se dégage, pendant l'unité de temps, une quantité de chaleur incomparablement plus grande, pendant la phase du lignite, que pendant celle de la houille.

Les faits géothermiques confirment pleinement ces résultats chimico-mathématiques, car les anomalies dans le degré géothermique sont moins accusées dans les gisements de houille que dans ceux de lignite.

On pourrait cependant considérer les observations faites dans les puits de Bruch comme le résultat d'un phénomène isolé qui exigerait, il est vrai, une explication, mais ne justifierait pas de conclusions d'une portée générale. J'ai recueilli dans cette région d'autres faits d'observation relatifs à des sondages et à des puits et les ai réunis dans mon Rapport sur la prévention des catastrophes thermales de Teplitz-Schœnau.

C'est ainsi que j'ai démontré, en me basant sur la température des eaux rencontrées, que dans les sondages nos VIII et IX, aux puits Nelson et Gisela qui ont traversé le grès sous-jacent à la couche, le degré géothermique est de 11,7, 12,7 et 12,0, tandis qu'il s'élève à 16,3 dans le puits Fortschritt qui a atteint le terrain

primitif (gneis?) ou s'en est approché. Ces chiffres se rapportant à la partie Est du bassin d'Ossegg ne montrent pas seulement une concordance avec les expériences faites dans les puits de Bruch, par des degrés géothermiques extraordinairement faibles, mais ils démontrent aussi que, dans le puits Fortschritt, entre le terrain primitif et la surface, doit s'interposer un magasin de chaleur qui explique l'accroissement du degré géothermique au voisinage du terrain primitif.

Depuis la publication de mon Rapport, M. le conseiller supérieur des mines Dr Gattnar voulut bien m'adresser des mesurages du plus haut intérêt, exécutés avec le plus grand soin, pendant le creusement des puits Alexandre, près d'Ossegg, par M. le directeur Woschachlik, au moyen d'un thermomètre de 1<sup>m</sup>50 de long(1). Il a trouvé :

Profondeur en mètres.	Température. Degrés C.	
100	15°	} argiles { (argile schisteuse tendre).
200	20°	
300	25°	
332	31°-31°2	charbon,

avec une température de 29°8 à 30° C pour l'eau de la couche.

Tandis que jusque 300 mètres, la température augmente tout à fait régulièrement de 5° C par 100 mètres de profondeur, soit de 1° C par 20 mètres (degré géothermique), au voisinage de la couche elle s'élève rapidement, sur 32 mètres, de 6,1° C, ce qui fait descendre, pour la partie inférieure du puits, le degré géothermique à 5°2, *la plus petite valeur connue jusqu'à présent.*

S'il pouvait encore rester douteux qu'une couche de charbon soit une source active de chaleur, le doute doit disparaître complètement devant ce fait, d'autant plus qu'aujourd'hui, dans les puits Alexandre, comme dans ceux de Bruch, la couche a été exploitée dans toutes les directions, sans que l'on ait rencontré de fissure thermique ou d'autres phénomènes connexes. Aux puits Alexandre, la couche présente presque toujours une température de 31,5° C dans les parties nouvellement mises à découvert.

---

(1) Ceux-ci sont publiés dans les Rapports de l'administration des mines de 1892.

Si l'on évaluait le degré géothermique, pour les puits Alexandre, à partir de la profondeur de 30 mètres (niveau normal) (1) jusqu'au chargeage, la moyenne s'élèverait à  $302 : 198 = 15^m4$ , soit encore à  $1^m4$  de moins qu'en partant des eaux rencontrées aux puits de Bruch.

*Il résulte des observations ci-dessus, qui sont en concordance complète avec les calculs chimiques, que les couches de combustible, dans la région de Dux, Ossegg et Brùx, constituent une puissante source de chaleur où le phénomène de la carbonification produit des températures s'élevant jusqu'à  $32^{\circ}$  C, ce qui fait descendre à  $5^m2$  le degré géothermique, en s'approchant des couches.*

Récemment le gisement d'Ossegg fut atteint par un puits d'aérage dans la forêt à l'Ouest d'Ossegg, approfondi à partir de 444 mètres; à 453 mètres, on y mesura, dans la couche, une température de  $30^{\circ}42$  et, à 463 mètres, de  $31^{\circ}5$  C. Il est très remarquable que dans les puits de Bruch (350 mètres), Alexandre (332 mètres) et dans ce puits (463 mètres), malgré les profondeurs différentes, la température de la couche soit toujours restée de  $31^{\circ}5$  C, ce qui ne peut s'expliquer que par le phénomène de la carbonification considéré comme source de chaleur.

De tels phénomènes ne sont pas seulement propres aux gisements de combustibles dont il a été question; ils sont plus fréquents qu'on ne pourrait le croire dans les lignites et dans les couches bitumineuses en général. Je n'en citerai que quelques cas où la cause de l'abaissement du degré géothermique a toujours été cherchée ailleurs que dans la houille ou le bitume mêmes.

Jusqu'à présent on admettait comme la plus faible valeur du degré géothermique celle trouvée à la mine de lignite de Monte-Massi dans les Maremmes. Léopold Pilla annonçait en 1843 (2) à Elie de Beaumont qu'à 116 mètres de profondeur, dans une petite galerie creusée dans du charbon terreux, il avait constaté  $25^{\circ}$  C et que Bunsen, à 348 mètres, avait mesuré  $41^{\circ}7$  C dans la couche principale. Les terrains traversés étaient de l'argile et de

---

(1) Je sais que dans ces derniers temps quelques physiciens ont estimé le degré géothermique à partir de la surface.

(2) Comptes-rendus de l'Académie des Sciences, 1843, p. 1319.

l'arkose compacte. Pilla supposait une température moyenne de 16° à la surface. Si l'on part du niveau normal à 25 mètres, on trouve que le degré géothermique à 116 mètres est  $91 : 9 = 10^m9$  et à 348 mètres,  $323 : 257 = 12^m5$ , valeurs extrêmement faibles.

Pilla dit expressément que la haute température n'est pas l'effet de phénomènes plutoniens (p. 1326) et n'est pas due non plus à l'existence d'eaux thermales (p. 1324), quoique plus tard les compilateurs, sans aucune raison, alléguèrent ces deux facteurs comme l'explication du fait.

Un autre degré géothermique extraordinairement faible, rapporté depuis longtemps dans la bibliographie, fut trouvé par le comte Mandelsloh dans le sondage de Neuffen (Wurtemberg), sans autre explication.

M. le conseiller intime Duncker (1) considère cette constatation comme extrêmement précise, parce que le trou de sonde était rempli de boue et que toute circulation d'eau y était impossible.

Le sondage de Neuffen a traversé les schistes bitumineux du Lias supérieur alternant avec des bancs de calcaire. La température augmenta presque uniformément depuis le jour jusqu'au fond (1180 pieds wuri. = 337<sup>m</sup>5) (2); le degré géothermique était de 11<sup>m</sup>1, ce qui s'explique par la répartition uniforme des schistes bitumineux, *source de chaleur*.

M. le professeur Branco (3) expliqua récemment ce faible degré géothermique par l'hypothèse d'une éruption volcanique récente qui ne se serait pas étendue jusqu'à la surface (laccolite), sans cependant en donner la moindre preuve. Dans ce même mémoire se trouvent consignées des observations de M. le professeur S. Schmidt sur ces mesurages : « De la diminution locale de la valeur du degré géothermique, c'est-à-dire de sa diminution au tiers de sa valeur normale dans le sondage de Neuffen, nous pouvons conclure, disait-il, que sous cette zone de grande élévation de température, doit se trouver une zone importante de faible élévation de température, ou peut-être de plus grande conducti-

(1) Sur la chaleur interne du globe terrestre.

(2) 1 mètre = 3,491 pieds du Wurtemberg.

(3) Publication annuelle du Ver. f. Vaterl. Naturkunde in Wurtemberg, 1897, page 28.

bilité calorifique et par conséquent de plus grand degré géothermique. » Ceci me semble directement en contradiction avec l'hypothèse de Branco.

Mais revenons à la région des lignites du Nord-Ouest de la Bohême.

Le fâcheux conflit entre les exploitations de lignite de cette région et les sources minérales de Teplitz, semblait aussi menacer Carlsbad. Vu l'importance du système thermal de cette région, de la conservation duquel l'Autriche est responsable vis-à-vis du monde entier, l'examen de ce cas exigeait les soins les plus minutieux et la plus grande conscience. C'est ce qui justifie pleinement l'attitude de l'Administration des Mines de Falkenau, dès les premiers indices de la possibilité d'un danger. Il va de soi que l'éventualité d'un tel danger ne pouvait être admise, sans avoir tous apaisements sur ce qui la concernait. Maintenant que la clarté a été faite pour la plus grande tranquillité de Carlsbad et de ceux qui y viennent chercher la guérison, cet épisode intéressant peut être l'objet d'une courte mention.

Au puits Marie n° II de la Société Britannia, à environ 3 kilomètres au Nord-Ouest de Falkenau et à 16 kilomètres à l'Ouest de Carlsbad, la couche supérieure de lignite avait été rencontrée à 86 mètres de profondeur, avec une puissance de 23 mètres et le puits fut porté, sans réduire sa section, à une profondeur totale de 170 mètres. A partir du fond de ce puits, fut foré, pendant l'été de 1898, un trou de sonde qui, après 12 mètres, recoupa la précieuse couche Josefí sur 3 mètres de puissance. Les terrains traversés étaient : au toit de la couche de lignite, les schistes (argileux) à cypridines ; au mur, du schiste qui, près de la couche, Josefí, devient bigarré (tuf basaltique). Le sondage rencontra, en même temps que la couche, une venue d'eau à la température de 30°8 C. La venue de 100 litres, au commencement (juillet 1898), s'éleva, au 16 septembre, à 864 litres et au 8 novembre 1898, jusqu'à 1052 litres par minute. L'Administration des Mines arrêta l'enfoncement du puits dans l'intérêt parfaitement justifié de Carlsbad, et convoqua, pour l'examen de ce cas une Commission composée de MM. J. Pollak et W. Urban, ingénieurs des mines, comme experts miniers ; de MM. les professeurs D<sup>r</sup> Laube, D<sup>r</sup> Uhlig et moi, comme experts géologues. L'Administration

supérieure y était représentée comme conseils par M. A. Rosiwal, géologue de section de l'Institut imp. royal de géologie, et la ville de Carlsbad par son ingénieur-géologue permanent, M. J. Knett, et par différents techniciens.

La Commission fut unanimement d'accord avec le propriétaire des mines sur ce que les sources minérales de Carlsbad devaient être absolument préservées contre toute éventualité d'assèchement.

Mais tandis que les représentants de Carlsbad protestaient d'une manière absolue contre toute continuation de l'enfoncement du puits et que M. Rosiwal considérait comme parfaitement établie la relation de l'eau chaude rencontrée dans le puits avec les thermes de Carlsbad, en se basant sur des analyses préliminaires, qui, pendant le cours de l'expertise, furent d'ailleurs reconnues inutilisables, nous avons de notre côté, en qualité d'experts officiels, à considérer que l'énorme gisement non encore exploité qui s'étend entre Carlsbad et Falkenau, en-dessous du niveau de jaillissement des thermes, et qui a une valeur de plusieurs milliards, ne pouvait être sacrifié que si la protection des sources de Carlsbad l'exigeait absolument, c'est-à-dire s'il existait un rapport parfaitement démontré entre celles-ci et la venue d'eau chaude du puits Marie.

Quelque attrayant qu'il me paraisse de donner de plus longs détails sur cette expertise si intéressante et même si émouvante, je m'en tiendrai cependant à la question que je me suis posée.

Par les observations dont on m'a fait part, je savais que dans la région d'Ossegg il avait été rencontré, dans la couche de combustible, de l'eau à la température de 32°, température correspondant d'ailleurs à celle du charbon, qui dans toute la mine était également élevée; c'est pourquoi la chaleur ne pouvait, selon moi, provenir d'un foyer, tel qu'une fissure remplie d'eau thermale; la source de chaleur devait être la couche elle-même. Pour ces raisons et d'accord avec les autres experts, je posai catégoriquement aux représentants du puits Marie, la question suivante :

*L'eau rencontrée provient-elle de la couche ou des thermes de Carlsbad ?*

A 300 mètres à l'Ouest du puits Marie, se trouve le puits d'aérage de la mine Bernhard, dans lequel, à la rencontre de la couche du mur, en août 1876, on eut également une venue d'eau à 26°2 C.

La Commission fit forer, à 700 mètres au Nord-Est du premier puits et jusque dans la couche du mur, un trou de sonde qui, à 21 mètres de profondeur dans de la marne, fit apparaître une première fois de l'eau à 11° C, traversa sur 138<sup>m</sup>40 le gisement de lignite avec une température de 22° à 23° C, et après avoir traversé des argiles grises dans lesquelles, à une profondeur totale de 174 mètres, l'eau apparut une seconde fois, atteignit la couche Josef à 203<sup>m</sup>95 de profondeur; à 213<sup>m</sup>30, ce sondage fut arrêté : l'eau avait une température de 34°6 C pour une température de 4°75 à la surface.

Si, pour déterminer le degré géothermique, on se sert de la mesure faite à 22 mètres, on obtient, pour la couche de lignite, un degré de 10<sup>m</sup>21 et, pour la couche du mur, de 8<sup>m</sup>14; si l'on base la mesure uniquement sur la couche de lignite, on ne trouve que 6<sup>m</sup>19. Quoique les mesures de température, dans ce sondage, soient sujettes à caution, les causes d'erreur ne sont pas assez importantes pour influencer considérablement les chiffres ci-dessus.

De l'eau à haute température ayant apparu dans la couche, en ces trois points de la concession Britannia, c'eût été un hasard extraordinaire si ces trois points, qui ne se trouvaient pas en ligne droite, eussent précisément rencontré des fissures thermales. Ceci me fortifia dans l'opinion que je m'étais faite à la suite de mes observations antérieures, c'est que l'eau du puits Marie n° II provenait de la couche et non d'une source thermale.

Il vint à la connaissance de la Commission que dans le puits Union n° I de la Compagnie du chemin de fer de Dux-Bodenbach, situé à 38 km. à l'E.-N.-E. du puits Marie n° II, on rencontrait également des eaux à haute température; la Commission s'y rendit et put y mesurer, pour l'eau, jusque 28°8 C et pour l'air de la mine, jusque 31°8 C; en outre deux selles de granit au-dessus desquelles la couche s'étend, ne purent, malgré toutes les recherches, donner aucune trace de fissure thermale.

Le champ d'exploitation du puits Union n° I, situé entre le puits Maria et Carlsbad, était alors déjà presque complètement épuisé et quoique des dérangements eussent été traversés, il n'y avait pas trace d'eau thermale interne; les eaux provenaient exclusivement de la couche ou du toit. Au puits Hélène, situé à

l'Est, les températures sont moindres; cependant on y trouva aussi, pour l'eau, 22°5 C et pour l'air de la mine, 21°8 C. Il était ainsi devenu pour moi absolument certain que dans la région de Falkenau, comme dans celle d'Ossegg, le charbon de la couche du mur se trouvait dans cette phase de transformation où se produit la plus grande quantité de chaleur. Dans le puits Marie n° II, c'était donc bien de l'eau provenant de la couche que l'on avait rencontrée, et l'approfondissement de ce puits ne pouvait être d'aucun danger pour les sources minérales de Carlsbad. Il est à remarquer que dans ces deux régions, la température de la couche et celle de l'eau est la même, soit 31 à 32° C, quoique le puits Marie n'eut que 182 mètres de profondeur.

Je me trouvai heureusement d'accord, dans cette manière de voir, avec plusieurs experts officiels. Malgré cette ferme conviction et vu la grande responsabilité assumée, des mesures de protection furent néanmoins prises, pour le cas où, contre toute attente, l'exploitation de la couche du mur aurait influencé les sources minérales de Carlsbad.

La continuation de l'enfoncement du puits Marie n° II fut officiellement autorisée.

La couche a été traversée jusqu'au grès oligocène d'Altsattel qui contient les empreintes végétales bien connues. Le fond du puits se trouve à 185<sup>m</sup>55 du pas de bure.

« L'eau chaude provient de la couche; le mur et le rejet — qui existe à la partie inférieure de la couche avec une dénivellation de 0<sup>m</sup>30 — sont tout à fait secs », dit le Rapport de l'Administration des Mines de Falkenau, en ajoutant : « la température de l'eau varie de 32°0 (à la paroi Nord) jusqu'à 30°2 C; une venue plus faible près du sol indique 28°8. »

En admettant une température moyenne de la couche égale à 31°5 et une profondeur égale à 183 mètres, et en prenant comme point de départ la température de 11° à 21 mètres de profondeur, dans le sondage dont il a été question plus haut, le degré géothermique pour la couche du mur est de 7<sup>m</sup>90.

Pendant le cours de l'expertise, les géologues insistèrent sur ce que le grès du mur est éminemment apte à recueillir les eaux et sur ce qu'il y a, à la limite Sud du bassin tertiaire de Carlsbad-Elbogen-Falkenau, un système de cassures qui pour-

raient être en communication avec les sources minérales de Carlsbad. L'eau minérale aurait donc pu pénétrer dans le grès qui s'étend au Sud du puits Marie et serait ainsi parvenue jusqu'à la couche du mur. Mais les constatations faites dans le puits ont montré que cette hypothèse est erronée, et prouvent même le contraire; car le grès est sec et l'eau la plus chaude ne provient pas du Sud, mais du Nord; l'eau la plus froide se trouve dans le mur même de la couche.

Une question de la plus haute importance se trouve donc tranchée; Carlsbad peut envisager sans inquiétude l'avenir du puits Maria et de la mine Britannia et des millions de tonnes d'excellent charbon à gaz, qui pendant des siècles procureront un travail rémunérateur à de nombreux ouvriers, ont été sauvées au profit de la richesse nationale.

#### Dégagement de la chaleur.

La chaleur émise par la carbonification devient d'autant plus sensible que ce phénomène en a moins fourni jusque là dans une couche donnée. Cette émission de chaleur peut se produire aussi bien intérieurement qu'extérieurement à la couche. Le premier cas s'observe, par exemple, quand de l'eau circule dans la couche. Plus est grande la quantité d'eau qui passe pendant l'unité de temps à travers l'unité de section, plus vite diminue la température de la couche. Au contraire, l'eau stagnante peut atteindre une température très élevée.

La chaleur de la couche est également considérablement influencée par la capacité conductrice des roches qui l'encaissent.

Les hautes températures que l'on rencontre si fréquemment dans la couche du mur du Nord-Ouest de la Bohême, sont dues surtout à ce que la roche encaissante est principalement de l'argile sèche (argile schisteuse tendre), dont la conductibilité pour la chaleur n'est que le tiers de celle du grès humide (0,250 à 0,760); ce qui concorde aussi avec le fait constaté par l'Administration des mines de Falkenau, que dans le banc de grès immédiatement inférieur à la couche, le thermomètre indique 3° C de moins que dans les bancs du toit, ce qui pourrait également d'ailleurs s'expliquer autrement.

Quand, comme à Ossegg et à Falkenau, la carbonification est entrée dans la phase du plus grand développement de chaleur, le dégagement de celle-ci peut ne pas suivre régulièrement et la température de la couche s'élève considérablement. Lorsque ce maximum a été dépassé, c'est-à-dire qu'il se développe pendant l'unité de temps moins de chaleur que précédemment, l'excédent trouve le temps de se répartir peu à peu dans la roche voisine. Et lorsque l'énergie de la carbonification diminue, la couche devient plus froide et la source locale de chaleur moins sensible. C'est dans cet état que se trouvent aujourd'hui la plupart des couches de houille et d'anhracite.

#### **Échauffement spontané.**

La chaleur qu'une couche de charbon dégage immédiatement après son abatage, est sa chaleur propre. Si l'on y établit des galeries ou des chantiers, la température des fronts de taille augmente d'autant plus généralement que la quantité d'air qui y circule, est moindre et que sa température est plus élevée, ou qu'en d'autres termes les actions réfrigérantes externes font défaut.

C'est cette élévation progressive de température du charbon, que j'appellerai *l'échauffement spontané*, dénomination que le mineur réserve à l'échauffement progressif du charbon mis à nu. La pression du terrain reposant sur la couche ne se transforme pas en chaleur, comme on l'a souvent cru; car cette pression s'exerçait déjà sur la couche, avant qu'elle ne fût en exploitation; mais la pression produit un fendillement du charbon et c'est pourquoi le charbon présente à l'oxygène de l'air plus de surfaces de contact; l'oxydation du charbon en devient d'autant plus énergique que, dans ces minces fissures, l'influence réfrigérante de l'air en circulation fait défaut. C'est un fait bien connu que la chaleur dégagée par l'oxydation peut être suffisante pour produire l'inflammation spontanée du charbon et pour provoquer des incendies souterrains.

Des mesures de température, dans les couches de charbon, n'ont donc de valeur, au point de vue géothermique, que si elles ont été faites dans une exploitation rapidement conduite et à l'abri de toute influence perturbatrice. C'est pourquoi beaucoup de mesures ne peuvent servir à l'évaluation scientifique du degré

géothermique, quoique je me hâte de reconnaître leur valeur pour la pratique et aussi, à plusieurs points de vue, pour la théorie. Cependant je n'ai fait que peu d'observations concernant l'échauffement spontané et je dois me contenter d'engager les mineurs intelligents à en réunir et à s'en préoccuper. Peut-être leurs travaux feront-ils une lumière plus complète sur l'origine des incendies souterrains et sur les mesures à prendre pour les éviter.

Les conditions calorifiques de la houille seront traitées ultérieurement; car j'ai l'intention de poursuivre l'étude de cette question géothermique; aussi serais-je très reconnaissant envers tous ceux qui voudraient me fournir des résultats sérieux d'observation.

Je puis tout au moins ici indiquer une présomption; c'est que, d'après les recherches que j'ai faites jusqu'à présent, dans les terrains à combustibles, le danger de l'inflammation spontanée et de l'incendie du gisement croit à mesure que le degré géothermique diminue.

#### **Lignites de Fohnsdorf (Styrie).**

Mon très honorable ami, M. le conseiller des mines L. von Hess, directeur des mines de Fohnsdorf, a eu l'extrême obligeance de faire exécuter, à ma demande, des mesures géothermiques, dans les exploitations de lignites de Fohnsdorf, par M. l'ingénieur J. Rottenbacher; je leur en dois une très vive reconnaissance.

En ce moment, les conditions étaient d'autant plus favorables, dans le district Wodzicki, que du puits d'extraction, aussi bien que du puits d'épuisement, des travers-bancs venaient d'être creusés jusqu'à la couche.

Le tableau (p. suiv.) donne les résultats de ces mesures.

En se basant sur les observations météorologiques de plusieurs années, il a été constaté qu'à Judenburg, la température moyenne de l'air était de 6°2 C; à Fohnsdorf cependant des observations faites pendant trois ans l'ont fait fixer à 0°2 ou 0°3 C de plus, de sorte que pour nos calculs, on peut admettre 6°45 C.

Dans le travers-bancs de roulage, à 480 mètres de profondeur (n<sup>os</sup> 1 à 7 du tableau), la température de la roche fut trouvée en moyenne de 26°63 C; il est à noter que la surface du sol est à peu près horizontale.

Nos	Distance horizontale entre le forage et le charbon. m.	Profondeur du forage.	Température en degrés Cent.			État du forage.	
			de l'air dans le travers-banc.	dans le forage			
				lecture.	moyenne.		
Travers-bancs supérieur.	1	82	2,1	24,1	26,1 25,9 26,4	26,0	sec.
	2	62	2,1	23,8	26,4 26,65	26,4	id.
	3	42	2,1	24,3	26,7	26,67	id.
	4	23	2,15	25,3	26,85	26,85	id.
	5	8	1,75	24,6	26,9	26,9	humide au fond.
	6	charbon	2,05	23,7	26,8 26,7	26,75	humide.
	7	id.	2,20	23,5	26,7 27,0 26,8	26,83	sec.
Travers-bancs inférieur.	8	83	2,1	24,4	24,5 26,1	24,5	humide.
	9	63	2,1	24,2	26,0 26,4	26,05	sec.
	10	43	2,1	26,0	26,6 26,6	26,5	id.
	11	23	2,1	24,8	27,0	26,8	id.
	12	charbon id.	1,5 1,5	25,2 25,2	28,3 27,3	28,3 27,3	id. humide.

Si l'on part de 25 mètres de profondeur, comme niveau de comparaison accepté jusqu'à présent dans la géothermique, on trouve comme degré géothermique, pour le bassin de lignites de Fohnsdorf ( $438 - 25$ ) :  $(26^{\circ}63 - 6^{\circ}45) = 413 : 20^{\circ}18 = 20^{\text{m}}46$ . Cette valeur est donc à peine les deux tiers de la valeur normale (33 mètres). Comme il ne se présente nulle part ici de roche éruptive moderne, il faut éliminer cette source de chaleur et nous devons bien en conclure que la source n'est autre que la carbonification.

Des mesures effectuées à 9<sup>m</sup>5 plus bas, dans le travers-bancs inférieur, il faut éliminer l'observation n° 8 qui ne concorde pas avec les autres et est visiblement due à une cause réfrigérante locale. Dans ces conditions, la température moyenne de la roche devient 26<sup>°</sup>99 C, d'où l'on déduit un degré géothermique

de 20<sup>m</sup>57, valeur correspondante à celle calculée précédemment, car la différence n'est que de 0<sup>m</sup>11.

Du tableau ci-dessus, il résulte encore que généralement les forages humides donnent des températures moindres que les trous secs, ce qui prouve que dans ces travers-bancs, on se trouvait dans la zone des eaux d'infiltration ; cela explique, en partie du moins, que le degré géothermique à Fohnsdorf soit plus élevé que celui des puits du district des lignites du Nord-Ouest de la Bohême.

Les observations faites dans ces deux travers-bancs montrent que la température y est presque partout égale, c'est-à-dire qu'à partir de 82 mètres, elle est indépendante de la distance horizontale à la couche de charbon ; à peine peut-on observer quelques dixièmes de degrés d'augmentation, en s'approchant de la couche.

La chaleur résultant de la carbonification s'est donc déjà presque entièrement communiquée par conductibilité à la roche encaissante, de sorte que l'équilibre s'est à peu près établi. Ce n'est qu'entre les stations 11 et 12 qu'il s'est produit une augmentation rapide de chaleur vers la couche, augmentation qui, sur 23 mètres de distance horizontale, s'élève à 1°5 C.

Les mesures géothermiques que MM. le conseiller des mines L. Hess von Hessenthal et l'ingénieur des mines Rottenbacher ont eu l'extrême obligeance de faire dans la couche de lignite du district Wodzicki à Fohnsdorf, montrent que l'échauffement spontané est bien plus important qu'on ne le croit. A l'aide de ces mesures, en supposant la température de l'air de 6°45 C et la profondeur de la ligne neutre à 25 mètres, j'ai évalué les degrés géothermiques comme l'indique le tableau de la page suivante.

La dernière colonne de ce tableau donne le degré géothermique, qui, à 111<sup>m</sup>8 de profondeur, atteint la valeur extraordinairement basse de 7<sup>m</sup>03, valeur qui croît régulièrement avec la profondeur, jusqu'à 16<sup>m</sup>74. Je ne puis m'expliquer ce fait que parce que les parties supérieures ont été mises à découvert les premières, de sorte qu'elles sont depuis plus longtemps sous pression et que les causes provoquant l'échauffement spontané en ont été d'autant plus actives. Je me suis adressé à ce sujet à mon ami M. le conseiller des mines von Hess, qui me donna une explication concordante : les stations 1 à 8 du tableau sont dans l'ancienne exploi-

tation, 9 à 17, dans les nouveaux chantiers. Pour les nos 1 à 8, les travaux sont à des distances de 20 à 50 mètres de la station de mesure.

Le tableau de Fohnsdorf enseigne d'une part que des mesures faites dans des couches de lignite en exploitation depuis un certain temps ne peuvent être utilisées pour la recherche d'une valeur générale du degré géothermique, et, d'autre part, que l'élévation de température due à l'échauffement spontané est considérable. En effet, le degré géothermique normal du bassin de Fohnsdorf a été trouvé égal à 20<sup>m</sup>5; il devait donc régner dans l'horizon n° 2 de Sillweg (n° 1 du tableau) à 111<sup>m</sup>8 de profondeur une température de 4,23 + 6,45 = 10<sup>m</sup>68 C dans la couche; la différence de 8<sup>m</sup>12 C provient de la chaleur due à l'échauffement spontané. Ce chiffre devrait encore être augmenté, car il se perd de la chaleur par conductibilité dans la roche encaissante, ainsi que par d'autres causes de refroidissement.

Nos	Désignation des chantiers.	Profondeur sous le pas de bure du puits Sillweg.	Température en degrés C.		Observations.	Degré géothermique. m.
			de l'air dans la galerie.	dans le forage.		
1	Sillweg II <sup>e</sup> horiz., galerie de fond . . . . .	111,8	—	18,8	2 mesures avec lecture.	7,03
2	Sillweg III <sup>e</sup> horiz., gale- rie de fond . . . . .	161,3	—	23,5	2 mesures 23,3, 23,2	7,99
3	Galerie E. Est 8. . . . .	167,6	—	21,8	2 id. 20,7, 22,0	9,28
4	" E. E. 7. . . . .	172,3	24,4	21,5		9,78
5	" J. W. 11. . . . .	217,7	26,2	24,8	2 id. 24,8, 24,9	10,73
6	" J. Est 11. . . . .	217,7	24,9	24,0	2 id. 23,7, 24,4	11,39
7	" J. W. 10. . . . .	221,5	27,2	23,6		11,93
8	" J. Est 7. . . . .	235,7	25,8	24,1	2 id. 23,9, 24,2	13,53
9	" J. Est 3. . . . .	257,7	25,6	22,9		14,52
10	Wodzicki I <sup>e</sup> Horiz., chan- tier Est . . . . .	272,7	25,7	23,5		15,17
11	Galerie IV 7 . . . . .	282,1	24,8	23,4		15,67
12	" IV E. 4 . . . . .	301,7	24,5	24,1		15,83 (1)
13	" IV E. 2 . . . . .	316,2	25,7	24,8		16,74
14	II <sup>e</sup> horiz., chantier Est.	332,2	23,2	24,8		15,69
15	Galerie VII, W. 8 . . . . .	283,2	27,3	22,9		16,75
16	" VII, W. 5 . . . . .	298,9	25,0	22,8		15,83 (1)
17	" VII, W. 2 . . . . .	316,4	24,1	24,9		

(1) Comparez les nos 13 et 17.

A la profondeur maxima de 332<sup>m</sup>2 (n° 14 du tableau), la température de la couche était de 24°8 C ; au degré géothermique normal, aurait correspondu 14,98 + 6,45 = 21°43 C. Il faut donc attribuer 3°37 C à l'échauffement spontané ; cet échauffement se fait donc sentir, dans cette exploitation plus récente, à un degré beaucoup moindre qu'aux étages supérieurs. Dans la suite, à 332<sup>m</sup>2, la température de la couche s'élèvera à 21,43 + 8,12 = 29°55 C, quand la température due à l'échauffement spontané se sera fait sentir au même degré qu'aux étages supérieurs.

Plus le charbon a une tendance à l'échauffement spontané, plus l'étendue des travaux doit être limitée au strict nécessaire et plus le défilage doit suivre de près le traçage et les travaux préparatoires, pour éviter l'élévation de température de la couche et de l'air, ainsi que les incendies souterrains.

---

Cette étude relative aux gisements de lignite suffira peut-être pour faire apprécier son importance pratique ; elle présente en outre un intérêt scientifique, car elle fait connaître une source de chaleur restée inaperçue jusqu'à présent dans la géothermique et explique naturellement les valeurs extraordinairement faibles du degré géothermique obtenues dans certains cas.

Je me rends bien compte de ce que la question n'a été qu'esquissée et de ce que de nombreuses recherches scientifiques et surtout chimiques sont encore nécessaires pour saisir complètement toutes les phases de l'acte de la carbonification. Il serait de l'intérêt de la science que ces études fussent continuées ; l'utilité que la pratique peut en retirer, ne pourra être déterminée que lorsque les investigations auront fait connaître des faits nouveaux.

Je me permets d'attirer l'attention de notre Gouvernement sur les résultats actuels de mes études et je m'en rapporte à lui, en ce qui concerne la suite à leur donner.

Si j'avais réussi à prouver une fois de plus l'importance de la géologie pour ceux qui s'occupent de mines, ce serait déjà pour moi une digne récompense.

## ANNEXES.

**I. — Calculs sur les phénomènes calorifiques qui accompagnent la carbonification.**

Par FR. TOLBT, directeur.

La composition de la fibre végétale, dans les jeunes plantes, correspond vraisemblablement à celle de la cellulose ( $C_6 H_{10} O_5$ ).

D'après Dammer (III, p. 200), la cellulose, la fibre végétale et le bois ont en % la composition suivantes :

	Cellulose.	Fibre végétale.	Bois.
C. . . . .	44,44 .	52,65	49,2
H. . . . .	6,17	5,25	6,1
O. . . . .	49,39	42,10	44,7

On voit que les substances organiques, formées de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, sont très compliquées dans leur composition, que cependant par l'action de la chaleur, les constituants s'unissent en des groupes de plus en plus simples. Si le tissu végétal reste longtemps à l'abri de l'air, il en résulte des produits toujours plus riches en carbone. C'est ce phénomène qu'on désigne sous le nom de *carbonification*.

Les plantes qui, dans la nature, sont accumulées, en grandes masses et mises à l'abri de l'air ou de l'eau par des couches isolantes (argile), se transforment en tourbe, lignite et houille par la carbonification.

La façon, dit Dammer, dont ces accumulations de plantes se forment et, par la décomposition lente à l'abri de l'air, se transforment en couches de lignite, est très compliquée et variable suivant les cas.

Dans cette transformation (carbonification), c'est l'oxygène qui pour la plus grande part est mis en liberté; l'hydrogène l'est en proportion moindre et le carbone en quantité moindre encore, de sorte que le charbon qui en résulte, contiendra d'autant plus de carbone qu'il est plus ancien. En moyenne, la composition des combustibles naturels, suivant leur âge, est approximativement la suivante :

	Carbone.	H <sup>2</sup> O combinée chimiquement.	Hydrogène libre.
Bois . . . . .	50 %	50 %	—
Tourbe . . . . .	54 "	45 "	1 %
Lignite . . . . .	70 "	28 "	2 "
Houille . . . . .	83 "	13 "	4 "
Anthracite . . . . .	95 "		

En outre, il y a jusque 2 % d'azote.

Fischer, dans sa Technologie, donne les moyennes suivantes :

	C	H	N	O
Bois . . . . .	50	6	0,08	43,92
Tourbe . . . . .	60,5	6	1,50	32,00
Lignite . . . . .	67	5,4	1,95	15,65
Houille . . . . .	85	5,1	2,40	7,50
Anthracite . . . . .	94,09	1,8	2,85	1,25

Quand le bois se transforme en tourbe, la perte ou le gain, dans le pourcentage de sa composition, sont les suivants :

C . . . . .	Gain	10,5 parties.	Perte	—
H . . . . .	"	—	"	—
N . . . . .	"	1,42	"	—
O . . . . .	"	—	"	11,92 parties.

Les quantités d'oxygène perdu doivent s'éliminer sous forme de  $\text{CO}_2$ ; la circonstance que dans les gaz provenant du lignite, l'anhydrique carbonique domine, tandis dans les gaz de la houille ce sont les hydrocarbures, confirme ce fait.

Cela étant, une partie du carbone de la fibre végétale doit être brûlée. Si l'on admet en outre que l'oxygène soit combiné à l'hydrogène, par le départ du premier, l'hydrogène devient libre; ce dernier se combine vraisemblablement au carbone pour former des hydrocarbures. Ceci est confirmé par le fait que les gaz des charbons anciens sont riches en hydrocarbures et même parfois ne sont formés que d'hydrocarbures.

M. le Dr Brookmann (Bochum) a trouvé, dans les soufflards de mines westphaliennes :

99 % . . . . .	$\text{CH}_4$	
Le reste étant formé de	$\left\{ \begin{array}{l} \text{CO}_2 \\ \text{N}_2 \\ \text{O}_2 \end{array} \right.$	

dans le charbon flambant de la fosse Président, à Bochum :

$\text{CH}_4$ . . . . .	96 %
$\text{CO}_2$ . . . . .	2 "
$\text{N}_2$ . . . . .	2 "

La formation du gaz des mines par la combinaison du carbone avec l'hydrogène, a comme conséquence une production de

chaleur ; la formation de méthane, dans les mines de houille, doit donc toujours être accompagnée d'un développement de chaleur ; c'est ce qui explique l'augmentation de chaleur dans les couches de houille.

L'azote peut provenir de restes animaux ; cependant il est remarquable que sa proportion augmente avec l'âge du charbon. Il est possible que cette augmentation soit attribuable à l'air incorporé. L'oxygène mêlé dans l'air à l'azote a brûlé pour former  $\text{CO}^2$  et a disparu sous cette forme ; la quantité de carbone, par la combustion de C en  $\text{CO}^2$  et sa combinaison avec l'hydrogène pour former des hydrocarbures, diminue avec le temps et la quantité d'azote restée invariable augmente en proportion.

Les quantités de chaleur émises par la transformation du tissu végétal en lignite peuvent être évaluées approximativement comme suit : 100 kil. de lignite sont, d'après ce qui précède, composés de :

67 kil. carbone,  
5,4 " hydrogène,  
1,95 " azote,  
15,65 " oxygène.

Comme 100 kil. de bois ne contiennent que 50 kil. de carbone, pour la formation de 100 kil. de lignite,  $(67 : 50) 100 = 134$  kil. de bois doivent au moins avoir été transformés.

134 kil. de bois sont formés de :

67 kil. carbone,  
8,04 " hydrogène,  
0,11 " azote,  
58,85 " oxygène.

Comme le lignite renferme  $2^k64$  d'hydrogène en moins que le bois, il est à supposer que cette différence en hydrogène est passée à l'état de  $\text{CH}^4$ , pour lequel il faut encore emprunter au bois  $7^k92$  de carbone.

La contenance du bois en azote est de  $1^k84$  plus faible que celle du lignite. Si nous admettons que l'azote provient de l'air emprisonné, il faut encore faire emploi de  $0^k58$  d'oxygène.

La différence dans la quantité d'oxygène est, en faveur du bois, de  $58,85 - 15,65 = 43^k20$ . Cette quantité d'oxygène doit également

s'échapper de la couche, combinée au carbone à l'état de  $\text{CO}^1$ , ou s'y trouver à l'état libre.

Comme. . . . . 0,55 kil. O proviennent de l'air emprisonné,  
 et . . . . . 43,20 " de l'excédent d'O existant dans le bois,  
 il faut retrouver 43,75 " d'oxygène uni au carbone.

Le carbone est brûlé à l'état de  $\text{CO}^2$ ; donc à la quantité d'oxygène qui vient d'être indiquée, s'unissent  $14^{\text{k}6}$  de C pour former  $58^{\text{k}35}$  de  $\text{CO}^2$ .

$7^{\text{k}92}$  de C sont employés pour la formation du méthane, de sorte qu'en tout il s'est séparé du bois  $22^{\text{k}52}$  de C qui, en outre de l'anhydride carbonique indiqué plus haut, ont donné  $10^{\text{k}56}$  de  $\text{CH}^4$ .

Aux  $22,52$  kil. de C, sont combinés dans le bois :

2,71	"	H
0,04	"	N
19,90	"	O

Pour faire passer ces gaz à l'état de  $\text{CH}^4$  et de  $\text{CO}^2$ , il faudrait encore utiliser :

8,16	kil. de C pour la formation de	10,88	kil. $\text{CH}^4$
et 7,45	" " " "	27,35	" $\text{CO}^2$

A  $15,61$  kil. de C, sont combinés :

1,87	"	H
0,03	"	N
13,7	"	O

On devra donc encore utiliser :

8,61	kil. de C pour la formation de	10,48	kil. $\text{CH}^4$
et 5,12	" " " "	18,42	" $\text{CO}^2$

A ces  $13,73$  kil. de C, sont de nouveau unis :

1,64	"	H
0,02	"	N
12,10	"	O

pour lesquels il faut :

4,92	kil. de C pour la formation de	6,55	kil. de $\text{CH}^4$
et 4,53	" " " "	16,53	" $\text{CO}^2$

A ces 9,45 kil. de C sont unis :

1,14 " H  
0,02 " N  
8,35 " O

1,14 kil. de H devient, avec 3,42 kil. de C, 4,36 kil. de  $\text{CH}_4$   
8,35 " de O " 3,14 " " 11,49 " de  $\text{CO}_2$

Ces 6,56 kil. de C sont combinés à :

0,78 " H  
0,01 " N  
5,70 " O

qui, avec un surplus de 2,34 kil. de C donnent 3,12 kil. de  $\text{CH}_4$   
et " " 2,13 " " " 7,83 " de  $\text{CO}_2$

Ces 4,47 kil. de C sont combinés à :

0,53 " H  
0,01 " N  
3,93 " O

qui exigent 1,59 kil. de C pour la formation de 2,12 kil. de  $\text{CH}_4$   
et 1,47 " " " " 5,40 "  $\text{CO}_2$

Ces 3,06 kil. de C sont combinés à :

0,37 " H  
0,01 " N  
2,70 " O

qui utilisent 1,11 kil. C pour former 1,48 kil.  $\text{CH}_4$   
et 1,01 " " 3,71 "  $\text{CO}_2$

Ces 2,12 kil. de C sont unis à :

0,25 " H  
0,00 " N  
1,87 " O

qui pour la formation de 1,00 kil. de  $\text{CH}_4$ , demandent 0,75 kil. C  
et 2,57 " de  $\text{CO}_2$  " 0,70 " "

Ces 1,45 kil. de C sont unis à :

0,17 " H  
0,00 " N  
1,18 " O

qui pour la formation de 0,68 kil. de  $\text{CH}_4$ , utilisent 0,51 kil. de C  
et 1,76 " de  $\text{CO}_2$  " 0,48 " "

Les calculs suivants seront sans influence sur le résultat.

La composition des gaz sera par conséquent :

10,56 kil. CH <sup>4</sup>	58,35 kil. CO <sup>2</sup>	— kil. N.
10,88 " "	27,35 " "	0,04 " "
10,48 " "	18,32 " "	0,03 " "
6,56 " "	16,63 " "	0,02 " "
4,56 " "	11,49 " "	0,02 " "
3,12 " "	7,83 " "	0,01 " "
2,12 " "	5,40 " "	0,01 " "
1,48 " "	3,71 " "	0,01 " "
1,00 " "	2,50 " "	— " "
0,68 " "	1,76 " "	— " "

---

51,44 kil. CH<sup>4</sup>    153,91 kil. CO<sub>2</sub>    0,14 kil. N.

soit en pour cent :

CH<sup>4</sup> = 24,9 %  
 CO<sup>2</sup> = 75,0 "  
 N<sup>2</sup> = 0,1 "

et en volumes pour cent :

CH<sup>4</sup> = 46,4 %  
 CO<sup>2</sup> = 52,4 "  
 N = 0,2 "

La Commission autrichienne du grisou a trouvé, dans les gaz d'un trou de mine montant du puits Julius, à Brûx :

CO <sup>2</sup> . . . . .	37,62 %	35,3 %
CH <sup>4</sup> . . . . .	33,34 "	36,06 "
N . . . . .	29,04 "	28,81 "

M. le Dr Brookmann a trouvé, pour la composition des gaz provenant de la houille de Rossitz :

CO <sup>2</sup> . . . . .	31 %
CH <sup>4</sup> . . . . .	30 "
C <sup>2</sup> H <sup>6</sup> . . . . .	19 "
N <sup>2</sup> . . . . .	20 "

tandis que pour les gaz provenant des lignites de Habichtswald :

CH <sup>4</sup> . . . . .	—
CO <sup>2</sup> . . . . .	91 %
CO . . . . .	9 "
N <sup>2</sup> . . . . .	—



## II. — Evaluation du dégagement de chaleur dans les gisements de combustible.

Par le professeur Baron VON JÜPTNER.

Pour prouver l'exactitude de la conception que dans le phénomène de la carbonification, il y a dégagement d'importantes quantités de chaleur, nous nous placerons en dehors de toutes les hypothèses géologiques faites sur la formation de la houille et ne considérerons que le point de vue chimico-physique.

Nous prendrons des moyennes de composition pour les différentes espèces de combustibles (débarrassés de leur eau et des cendres), en nous rappelant que ces moyennes — au moins pour certaines espèces, telles que la tourbe — n'ont été données que par quelques chiffres et n'ont par suite qu'une valeur approximative.

Pour les substances considérées ici, nous prendrons :

A. — Composition moyenne (d'après E. Muck).

Tissu ligneux . . . . .	50 % C,	6 % H,	43 % O,	1 % N.
Tourbe . . . . .	59 % "	6 % "	33 % "	2 % "
Lignite . . . . .	69 % "	5,5 % "	25 % "	0,8 % "
Houille . . . . .	82 % "	5 % "	13 % "	0,8 % "
Anthracite . . . . .	95 % "	2,5 % "	2,5 % "	traces "

B. — Pouvoir calorifique moyen.

Bois . . . . .	4800 calories (Gottlieb).
Tourbe . . . . .	6000 " (Fischer).
Lignite . . . . .	6800 " "
Houille . . . . .	7900 " "
Anthracite . . . . .	8300 " "

C. — Pouvoir calorifique des constituants élémentaires.

Bois . . . . .	$0,5 \times 8080 + 0,06 \times 34000 = 6080$ calories.
Tourbe . . . . .	$0,59 \times 8080 + 0,06 \times 34000 = 6807$ "
Lignite . . . . .	$0,69 \times 8080 + 0,055 \times 34000 = 7445$ "
Houille . . . . .	$0,82 \times 8080 + 0,05 \times 34000 = 8326$ "
Anthracite . . . . .	$0,95 \times 8080 + 0,025 \times 34000 = 8526$ "

D. — Chaleur moyenne de formation (par 1 kil.).

Bois . . . . .	$6080 - 4800 = 1280$ calories.
Tourbe . . . . .	$6807 - 6000 = 807$ "
Lignite . . . . .	$7445 - 6800 = 645$ "
Houille . . . . .	$8326 - 7000 = 426$ "
Anthracite . . . . .	$8526 - 8300 = 226$ "

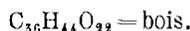
Il apparait clairement qu'avec le degré d'avancement du phénomène de la carbonification, le pouvoir calorifique augmente, tandis que la chaleur de formation diminue.

E. — Gaz emprisonnés dans les combustibles.

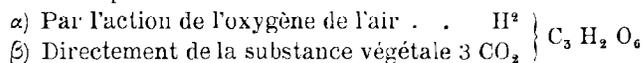
Les constituants les plus importants de ces gaz sont le méthane, l'anhydride carbonique et l'azote; ce dernier indique que l'air a eu accès au gisement de charbon. Des deux premiers, c'est le  $\text{CO}^2$  qui prédomine dans les combustibles de transformation peu avancée (lignite), tandis que le méthane l'emporte dans les combustibles anciens (houille).

Dans les charbons de formation récente, nous avons surtout à considérer la formation de  $\text{CO}_2$  (chaleur de formation = 8080 calories pour 1 kil. de C), dans les anciens, celle de  $\text{CH}_4$  (chaleur de formation = 1833 calories pour 1 kil. de C). Il peut y avoir en outre formation d'eau (34000 calories pour 1 kil. de H) et de petites quantités d'hydrocarbures lourds ( $\text{C}_2 \text{H}_2$ ).

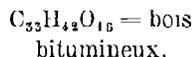
Pour nous faire une idée approximative des changements quantitatifs qu'éprouve la substance végétale pendant le phénomène de la carbonification, nous déduirons ceux-ci de la composition moyenne des différents combustibles, en nous appuyant sur les formules données dans la Chimie de Muspratt (3<sup>e</sup> édition T. III, p. 955); la composition y est donnée en atomes de C, de H et de O. Il s'ensuit que la formation de bois bitumineux se produit à peu près d'après le schéma suivant :



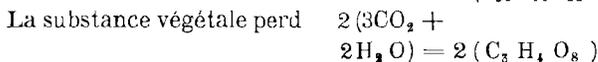
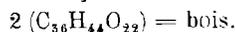
Il se sépare :



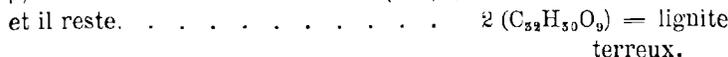
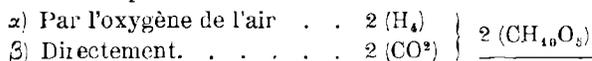
Il reste donc :



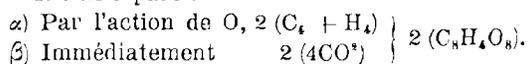
Pour les autres espèces de combustible, on peut imaginer que le phénomène de carbonification se passe de la façon suivante :



Il s'en sépare :



Il s'en sépare :



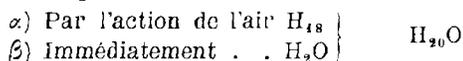
il reste . . . . .  $2 (\text{C}_{20}\text{H}_{20}\text{O})$ , = houille sèche (splint coal)

Il s'en sépare directement :



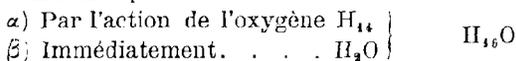
il reste . . . . .  $2 (\text{C}_{20}\text{H}_{18}\text{O})$  = cannel coal

Il s'en sépare :



il reste . . . . .  $\text{C}_{10} \text{H}_{10}\text{O}$  = houille maigre (Sandkohle)

Il s'en sépare :



il reste . . . . .  $\text{C}_{10}$  = graphite.

Le compte en poids des produits de transformation du bois peut donc s'établir comme suit :

Nom.	Substance solide.	CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O
Bois . . . . .	828	—	—	—
Tourbe . . . . .	660	132	—	36
Lignite terreux . . .	558	44	—	90
Houille sèche . . . .	330	352	—	36
Cannel coal . . . . .	274	—	56	—
Houille maigre. . . .	256	—	—	90
Graphite. . . . .	240	—	—	72
Bois bitumineux . . .	694	132	—	18

ou par unité de poids de bois :

Nom.	Substance solide.	CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O
Bois . . . . .	1	—	—	—
Tourbe . . . . .	0,797	0,159	—	0,043
Lignite terreux . . .	0,674	0,053	—	0,109
Splint coal. . . . .	0,398	0,425	—	0,043
Cannel coal . . . . .	0,331	—	0,067	—
Sandkohle . . . . .	0,309	—	—	0,109
Graphite . . . . .	0,290	—	—	0,086
Bois bitumineux. . .	0,838	0,159	0,159	0,022

D'après ces compositions, le bilan calorifique s'établit comme suit pour les différentes espèces de combustibles.

I. — Bois.

Chaleur de formation du bois . . . . . 1280 cal.

II. — Tourbe.

Chaleur de formation de 0,797 kil. de tourbe . . . . . 643 "

" "	0,159 "	CO <sub>2</sub> = 347 cal.	}	517 "
" "	0,043 "	H <sub>2</sub> O = 170 "		

Chaleur de formation du bois — Chaleur de formation  
de (la tourbe + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O) = . . . . . 120 "

Cette transformation doit se faire avec absorption d'énergie étrangère.

III. — Lignite.

Chaleur de formation de 0,674 kil. de lignite . . . . . 435 cal.

" "	0,053 "	CO <sub>2</sub> = 113 cal.	}	521 "
" "	0,109 "	H <sub>2</sub> O = 408 "		

Chaleur de formation de la tourbe — Chaleur de formation  
du (lignite + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O) = . . . . . 313 "

La transformation de la tourbe en lignite peut donc s'accomplir sans secours d'énergies étrangères, et la chaleur rendue libre — à l'exception des pertes par conductibilité et rayonnement, — peut échauffer le lignite formé.

IV. — Houille (valeur moyenne)

Chaleur de formation de 0,346 kil. de houille. . . . . 147 cal.

" "	0,425 "	CO <sub>2</sub> = 937 cal.	}	1206 "
" "	0,041 "	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> = 27 "		
" "	0,079 "	H <sub>2</sub> O = 296 "		

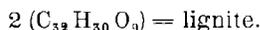
Excès de la production de chaleur sur la différence  
entre les chaleurs de formation du lignite et de la  
houille : 1206 — 288 = . . . . . 918 "

Si nous faisons abstraction du bois bitumineux pour lequel les conditions sont tout à fait analogues à celles de la tourbe, nous avons donc pour l'excès de chaleur par la transformation de

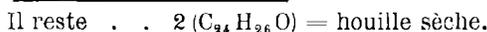
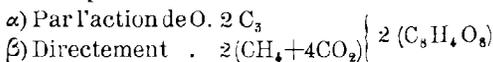
1 kil. de bois.	. . en 0,797 kil. de tourbe.	. . —	120 cal.
0,797 "	de tourbe.	en 0,674 "	de lignite. . . + 313 "
0,674 "	de lignite.	en 0,346 "	de houille . . + 918 "
0,797 "	de tourbe.	en 0,346 "	de " . . + 1231 "

Ces chiffres ne sont pas rigoureusement exacts, vu que nous partons de l'hypothèse qu'il n'y a formation que de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$  et  $\text{H}_2\text{O}$ , tandis que d'après les analyses des gaz inclus dans les combustibles,  $\text{CH}_4$  joue un rôle prédominant. Mais la petite quantité de  $\text{C}_2\text{H}_4$ , dont la chaleur de formation ne s'élève qu'à — 27 calories, introduite dans les calculs précédents, ne modifie pas sensiblement les résultats. Par contre, si chaque atome de C s'unissait avec l'hydrogène pour former  $\text{CH}_4$ , au lieu que ces éléments soient brûlés pour former  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ , il ne se produirait que  $\frac{1}{12}$  de la chaleur fournie par ces deux phénomènes.

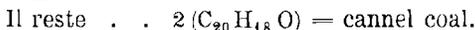
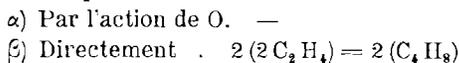
Ceci deviendrait surtout sensible dans la transformation du lignite en houille, où l'on peut supposer à peu près les phénomènes suivants :



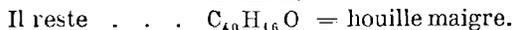
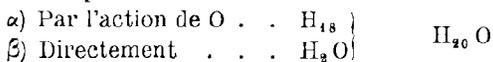
Il se sépare :



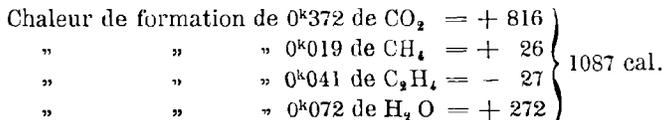
Il se sépare :



Il se sépare :



En moyenne, il se forme donc pour 1 kil. de bois  $0^{\text{e}}372 \text{ CO}_2$ ,  $0^{\text{e}}019 \text{ CH}_4$ ,  $0^{\text{e}}041 \text{ C}_2 \text{H}_4$ ,  $0^{\text{e}}072 \text{ H}_2 \text{O}$  et l'on aurait :



et l'excès de la production de chaleur sur la différence de chaleur de formation du lignite et de la houille serait  $= 1087 - 288 = = 799 \text{ cal.}$

Si l'on suppose la chaleur spécifique du charbon en moyenne  $= 0,2$ , celle de l'eau  $= 1$  et les chaleurs spécifiques (à volumes

constants) de  $\text{CO}_2 = 0,172$ , de  $\text{CH}_4 = 0,468$ , de  $\text{C}_2\text{H}_4 = 0,359$ , si aucune perte de chaleur n'avait lieu, par la chaleur due à la carbonification, les combustibles subiraient les élévations de température suivantes :

Bois . .  $0^\circ\text{C}$

$$\text{Tourbe . } - \frac{120}{0,2 \times 0,797 + 0,159 \times 0,172 + 0,043} = - 522^\circ\text{C.}$$

$$\text{Lignite . } + \frac{313 \times 0,797}{0,2 \times 0,674 + 0,053 \times 0,172 + 0,109} = + 998^\circ\text{C.}$$

$$\text{Houille . } + \frac{918 \times 0,674}{0,2 \times 0,346 + 0,425 \times 0,172 + 0,041 \times 0,359 + 0,079} = + 2622^\circ\text{C.}$$

$$\text{et } + \frac{799 \times 0,674}{0,2 \times 0,346 + 0,372 \times 0,172 + 0,019 \times 0,468 + 0,041 \times 0,359 + 0,072} = + 2351^\circ\text{C.}$$

La houille, par sa formation en partant de la tourbe, donnerait :

$$+ \frac{1231 \times 0,797}{0,2 \times 0,346 + 0,478 \times 0,172 + 0,041 \times 0,359 + 0,188} = + 2772^\circ\text{C.}$$

$$\text{et } + \frac{1112 \times 0,797}{0,2 \times 0,346 + 0,425 \times 0,172 + 0,019 \times 0,468 + 0,041 \times 0,359 + 0,181} = + 5339^\circ\text{C.}$$

Ces phénomènes rendent donc possible sans aucun doute, même en présence de pertes considérables de chaleur, un échauffement local notable des gisements de combustible. L'air en s'introduisant doit de plus amener une décomposition de la pyrite contenue dans le charbon et produire un nouveau développement de chaleur.

Les considérations qui précèdent, montrent également pourquoi dans les charbons récents, c'est la formation de  $\text{CO}_2$  qui prédomine, tandis qu'une formation prédominante de méthane ne peut avoir lieu que dans les combustibles anciens. Les premiers, grâce à leur chaleur de formation relativement élevée, ne peuvent éprouver de décomposition que par des phénomènes développant une chaleur considérable (la formation de  $\text{CO}_2$  et de  $\text{H}_2\text{O}$ ), tandis que des quantités considérables de méthane, etc., ne peuvent se produire, comme produits de décomposition, que si les chaleurs de formation qui ont pour effet de décomposer le charbon, ont diminué dans une certaine mesure.

Traduit par J. VRANCKEN,  
ingénieur au Corps des mines, à Charleroi.

**Note additionnelle.**

Le mémoire de M. le professeur H. Høfer dont l'*Österreichische Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen* eut la primeur, a donné lieu, depuis 1902, à l'institution de mesures géothermiques dans les principales mines de combustible de l'Autriche. Ces mesures ont été instituées d'après des principes d'uniformité qui systématisent les comparaisons et les études scientifiques.

Le Ministère de l'Agriculture, de qui relève l'administration des mines autrichienne, a en conséquence dicté de la manière suivante la forme dans laquelle ces mesures devaient être entreprises. Il serait d'un haut intérêt de voir instituer des observations analogues dans les autres pays, eu égard à l'intérêt scientifique et pratique qu'elles présentent.

Voici la traduction du tableau et des instructions données par le Ministère autrichien.

a) Des mesures géothermiques seront instituées, dès qu'un puits doit atteindre la profondeur de 100 mètres ou plus, ou lorsqu'une galerie ou un travers-bancs doit atteindre une profondeur verticale correspondante. Ces mesures seront faites aussi exactement que possible par des employés qui auront reçu des instructions ad hoc, dans des forage secs autant que possible, qui mesurent au moins 2 mètres de profondeur, pratiqués dans la paroi ou la voûte.

b) L'emplacement du forage qui doit toujours se trouver dans la partie la plus sèche de la paroi ou de la voûte, doit être choisi de telle sorte qu'il se trouve à l'abri de toutes perturbations locales de température, et notamment de venues d'eau (sources), et qu'il ne puisse être influencé à l'intérieur par rapport à la température, par exemple par des suintements ou des écoulements d'eau pouvant y pénétrer.

c) Le thermomètre servant aux mesures doit être à maxima et présenter un rand réservoir à mercure protégé par une enveloppe métallique interrompue sur une grande hauteur; l'échelle du thermomètre s'étendant de 0 à 45° C. doit être au moins divisée en cinquièmes de degré. A la partie supérieure, il doit être muni d'un crochet permettant de le retirer aisément du trou de forage. Le thermomètre doit être contrôlé, ou son exactitude vérifiée de toute autre manière.

d) Les observations seront commencées dès que l'on arrivera dans la partie correspondante du puits ou de la galerie, de telle sorte que la température des parois ou de la voûte reste bien la température primitive. Le thermomètre à maxima dont l'index aura été amené dans sa position inférieure au moyen d'eau froide, avant son introduction dans le forage, et dont le réservoir sera plongé dans l'eau froide, dès qu'on l'aura retiré du trou et pendant la lecture,

sera introduit de telle sorte que le réservoir à mercure touche le fond du trou, tandis que l'orifice du forage est fermé hermétiquement au moyen d'un bouchon de bois enveloppé d'étoupes graissées.

e) Le thermomètre sera introduit 24 heures environ après le forage du trou et y restera deux jours avant la première lecture. Cette lecture sera journalièrement renouvelée jusqu'à ce que la température reste constante.

f) La première observation doit être faite dès que le puits ou la galerie arrivera à 25 mètres de profondeur, mesurés *normalement* au terrain de la surface. A partir de ce point, de nouvelles observations seront faites tous les 50 mètres.

g) Si par suite de recherches précédentes ou de la présence de couches conductrices bien déterminées, le point de rencontre de la couche est approximativement connu, cinq mesures de température seront faites avant ce point de rencontre, à 40, 30, 20, 10 et 5 mètres de la couche. La température de la couche sera prise à 1 mètre sous le toit, au milieu et à 1 mètre au-dessus du mur, selon la puissance de la couche.

h) Lorsque la couche est traversée, les mesures seront répétées, comme à l'approche de celle-ci, à 5, 10, 20, 30, 40, 50, 100, 150 mètres de distance de la couche. Si l'on s'attend à recouper une seconde couche, on opérera comme il a été dit pour la première.

i) Lorsqu'on traversera une couche, on y prendra, à la manière ordinaire, un échantillon moyen destiné à être soumis aussitôt que possible à une analyse élémentaire. Les résultats de celle-ci seront joints au tableau des observations.

k) Lors de la mise en exploitation de la couche, des mesures de température seront faites de la manière indiquée dans la galerie de fond, tous les 100 mètres, en prenant autant que possible note de la situation du fond du forage par rapport au toit et au mur.

Suit le tableau comprenant les résultats des observations :

