

Etude pétrographique des charbons belges du Bassin de Campine

Application à la connaissance de quelques propriétés chimiques
et technologiques des veines en relation avec leur position stratigraphique (*)

par R. NOEL,

Dr. es Sciences, attaché à Inichar.

SAMENVATTING

Schrijver vermeldt de resultaten van de kwantitatieve petrografische analyse der kolen van het merendeel der lagen die in het Kempens bekken op Belgisch grondgebied ontgonnen worden. Uitgaande van een studie van de zuivere vitrietbestanddelen, bewijst hij welke overwegende invloed de macerale petrografische samenstelling heeft op het cijfer van de vluchtige bestanddelen, en dit voor eender welke kolensoort. De kennis van de petrografische samenstelling is onmisbaar voor de bepaling van de soort en de technologische eigenschappen die daarmee samenhangen.

Schrijver duidt aan op welk niveau de kolen in hun verkolingsproces om zo te zeggen een sprong ondergaan, waardoor hun eigenschappen gevoelig gewijzigd worden.

Het groot belang van de petrografische samenstelling komt nog meer tot uiting in de vergelijking tussen de scheikundige samenstelling en de manier van uitzetten van de kolen enerzijds, en van de zuivere vitrieten die uit diezelfde kolen kunnen afgezonderd worden anderzijds.

De studie verduidelijkt de invloed van de stratigrafische ligging op de dilatometrische eigenschappen van de stalen.

INHALTSANGABE

Der Verfasser teilt in seinem Aufsatz die Ergebnisse quantitativer petrographischer Analysen der meisten in der Campine abgebauten Flöze mit. Auf Grund einer Untersuchung des aus den Flözkohlen herausgelösten reinen Vitriets stellt er fest, dass bei Kohlen sämtlicher Inkohlungsgrade der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen entscheidend von der Ma-

RESUME

L'auteur donne les résultats de l'analyse pétrographique quantitative du charbon de la plupart des veines exploitées dans le bassin belge de Campine. Il établit, pour les charbons de tous rangs et grâce à une étude des vitrains purs isolés, l'influence prépondérante de la composition pétrographique macerale sur leur indice des matières volatiles. La composition pétrographique du charbon est une donnée indispensable pour la connaissance de son rang et des propriétés technologiques qui en dépendent.

L'auteur situe le rang atteint par les charbons au moment où ils semblent passer par un saut de houillification, qui modifie sensiblement leurs propriétés.

La comparaison de la composition chimique et du comportement dilatométrique des charbons et des vitrains purs isolés de ces mêmes charbons met en évidence le rôle important de la composition pétrographique.

L'étude montre l'influence déterminante de la position stratigraphique sur le comportement dilatométrique des échantillons.

SUMMARY

The author sets forth the results of the quantitative petrographic analysis of the coal in most of the seams worked in the Belgian basin of Campine. He establishes, for all ranks of coal, and thanks to a study of pure isolated vitrains, the preponderant influence of the maceral petrographic composition on their index of volatile matter. The petrographic

(*) Communication présentée au XXXIII^e Congrès de Chimie Industrielle, Bordeaux 1-8 octobre 1961.

zeralzusammensetzung der Kohle abhängig ist. Die Kenntnis des petrographischen Aufbaus der Kohle ist eine unumgängliche Voraussetzung für ihre Einordnung hinsichtlich des Inkohlungsgrades und die richtige Bewertung der von ihm abhängigen technologischen Eigenschaften.

Der Verfasser stellt den Inkohlungsgrad der von ihm untersuchten Kohlen im Augenblick des sogenannten Inkohlungssturzes fest, der eine wesentliche Veränderung der Kohleeigenschaften mit sich bringt. Der Vergleich zwischen der chemischen Zusammensetzung und dem Verhalten der Kohlen und des aus ihnen herausgelösten reinen Vitrits während des Dilatometerversuchs lässt deutlich die wesentliche Rolle der petrographischen Zusammensetzung erkennen. Die Untersuchung beweist den entscheidenden Einfluss der stratigraphischen Lage der Flöze auf das Verhalten der Kohleproben im Dilatometer.

INTRODUCTION

Depuis plus de 10 ans, le laboratoire de recherches de l'Institut National de l'Industrie Charbonnière (Inichar) réalise, sous la direction du Dr. L. Coppens, un vaste travail de classification des charbons belges destiné à en assurer une exploitation aussi féconde que possible.

Cette classification porte notamment sur la composition pétrographique des charbons, sur leur composition chimique et sur certaines propriétés technologiques, en particulier sur les propriétés cokéfiantes.

Plus de 200 prélèvements de charbon ont été effectués dans les veines en exploitation d'un grand nombre de charbonnages répartis dans tous les bassins houillers de la Belgique.

Le présent travail se limite à l'exposé de certains résultats obtenus sur tous les échantillons prélevés dans le bassin de Campine.

Ce bassin est situé au nord-nord-est de la Belgique. Sa limite sud-sud-ouest passe approximativement par Maestricht, Hasselt, Diest et le nord d'Anvers. Sa production annuelle d'environ 10 millions de tonnes représente près de 40 % de la production totale belge.

Pour obtenir un échantillon de toutes les veines exploitées au cours des 10 dernières années, dans chacun des 7 grands charbonnages de ce bassin, 100 prélèvements ont été nécessaires.

Géographiquement, ceux-ci sont répartis de manière assez uniforme dans tout le bassin ; géologiquement, ils sont situés dans une cinquantaine de veines, qui se succèdent de la base du Westphalien A à la zone supérieure du Westphalien C. Souvent, une même veine, exploitée simultanément dans plusieurs charbonnages, a fait l'objet de plusieurs prélèvements.

composition of the coal is an indispensable factor in the knowledge of its rank and the technological properties which depend on it.

The author situates the rank reached by the coals at the moment when they seem to pass through a sudden carbonization phase which modifies their properties.

The comparison between the chemical composition and the dilatometric behaviour of the coals and the pure isolated vitrains from these same coals indicates the important role of the petrographic composition.

The study shows the determinant influence of the stratigraphic position on the dilatometric behaviour of the samples.

Les prélèvements sont toujours effectués en taille active, par une saignée de charbon frais, d'épaisseur et de profondeur constantes sur toute la longueur séparant le toit du mur de la veine, perpendiculairement à la stratification.

METHODES

Les méthodes d'analyses chimiques et les essais technologiques pratiqués sur l'échantillon moyen représentatif de chaque prélèvement ont été décrits en détail par L. Coppens [1]. Très brièvement résumées, les méthodes d'analyses utilisées pour le présent travail sont les suivantes.

L'indice des matières volatiles (MV'') exprimé sur charbon sec, supposé exempt de cendres, est obtenu par carbonisation au double creuset pendant 40 minutes, à 1050° C du charbon broyé sous 175 μ .

L'humidité hygroscopique est obtenue par traitement pendant 2 heures d'une fraction analogue, à l'étude à vide, à 100° C, en présence de P₂O₅.

Les cendres (Cs') sont obtenues par incinération d'une fraction analogue, à 850° C, pendant une demi-heure.

L'essai dilatométrique est pratiqué sur une charge de 6 g de charbon broyé sous 250 μ , placée dans un cylindre de 16 mm de diamètre et supportant un piston, dont la pression exerce sur elle une pression de 50 g par centimètre carré. La loi de chauffe est de 4° C par minute jusqu'à 260° C, puis de 1° C par minute jusqu'à 500° C.

Le pouvoir dilatométrique est apprécié par la longueur de déplacement du piston. Il est exprimé en pourcent de la longueur initiale de la charge.

Au point de vue pétrographique, l'analyse macérale a été pratiquée sur la surface polie des échantillons moyens de charbons broyés sous 700 μ et enrobés dans une résine synthétique. C'est une ana-

lyse statistique basée sur l'examen d'au moins 1.000 points sur charbon, uniformément répartis sur toute la surface polie, au grossissement 500 X, à l'immersion d'huile.

Pour 50 des 100 prélèvements, le vitrain a été isolé du charbon. Ce travail a été réalisé à partir de blocs de charbon prélevés en veine, à proximité immédiate de la saignée pratiquée pour obtenir le charbon de l'échantillon moyen en grains. Les fines strates de charbon brillant, ou vitrain, sont repérées à l'œil nu et isolées au scalpel. Les fragments de vitrain de ces strates sont ensuite triés sous le microscope stéréoscopique. Ce tri minutieux a donné, sur les 50 échantillons traités, 29 vitraïns ayant moins de 1/2 % de cendres et seulement 2 vitraïns de plus de 1 %.

Le pouvoir réflecteur du vitrain a été mesuré à l'aide de l'appareillage à photomultiplicateur d'électrons mis au point par Mackowsky et Kötter [2] sur la surface polie d'un échantillon représentatif des vitraïns isolés.

RESULTATS

A. Constitution pétrographique des charbons et indice des matières volatiles.

L'indice des matières volatiles qui constitue le critère le plus universellement utilisé dans la classification des charbons industriels, montre que la gamme des charbons campinois s'étage de 14 à 36 %, ce qui correspond à un pouvoir réflecteur passant de 2,10 à 0,90 % environ.

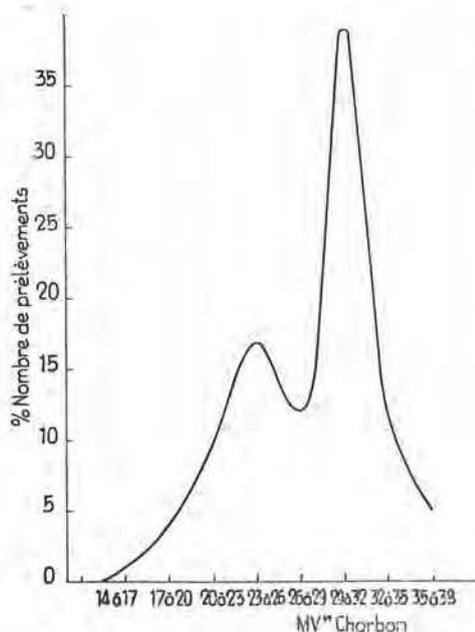


Fig. 1.

La courbe de fréquence de la figure 1 montre que près de 40 % des charbons campinois se situent dans la zone d'indice 20 à 32 % de matières vola-

tiles. La courbe passe par un minimum dans la zone de 26 à 29 %. La rareté des charbons dans cette zone n'est pas due principalement à la répartition géologique des veines, mais à un phénomène plus complexe que l'on peut mettre en évidence en comparant l'indice des matières volatiles des charbons à celui des vitraïns correspondants.

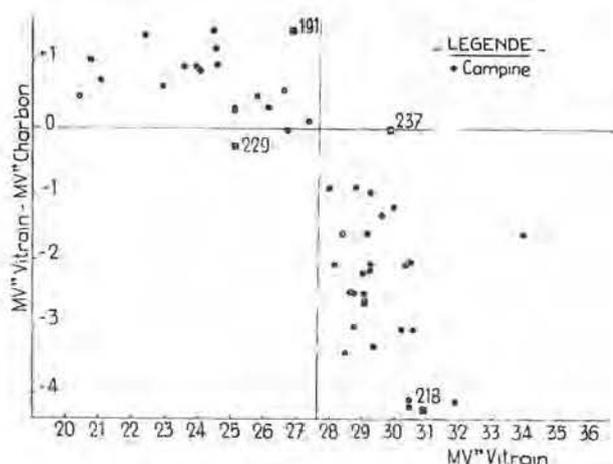


Fig. 2.

Dans ce but, la figure 2 donne, en fonction de l'indice des matières volatiles, la différence entre cet indice et celui des charbons correspondants. Il y apparaît un point particulier, situé entre 27 et 28 % de matières volatiles des vitraïns.

Dans la zone, où l'indice des matières volatiles est inférieur à ce point, le vitrain a un indice voisin ou un peu supérieur à celui du charbon. Par contre, dans la zone où l'indice des matières volatiles est supérieur à ce point, le vitrain présente un indice presque toujours très inférieur à celui du charbon. Le point considéré entre 27 et 28 % semble donc correspondre à une brusque modification de la structure chimique du charbon. C'est le point de l'« Inkohlungssprung » ou saut de houillification, mis en évidence depuis longtemps par Stach et ses collaborateurs [5], au cours de l'étude des propriétés optiques de l'exinite.

Ce stade particulier d'évolution des charbons pourrait correspondre par exemple, au plan chimique, à un phénomène d'aromatization avec forte déméthanisation.

Quoi qu'il en soit, l'étude comparative des vitraïns et des charbons a, comme on le voit, permis de situer avec une grande exactitude le rang atteint par les charbons au moment du saut de houillification.

Pour rechercher la cause de la dispersion des points dans les deux zones, qui correspondent aux étapes antérieure et postérieure au saut de houillification, l'étude de la composition pétrographique macérale des charbons était indispensable.

Pour cette étude, nous avons, suivant en cela les normes du Comité International de Pétrologie des

Dans les deux cas, la composition macérale rend bien compte de la fluctuation de l'indice des matières volatiles.

Il en va de même dans la zone des charbons plus évolués où, comme nous l'avons vu, l'exinite tend à s'assimiler à la vitrinite.

Ici, c'est donc principalement la teneur en inertinite qui rendra compte de la différence d'indice des matières volatiles entre le charbon et son vitrain.

C'est le cas pour le point extrême 191 où le charbon présente un indice de matières volatiles nettement plus faible que le vitrain. Sa teneur en inertinite atteint la proportion record de 40 %. A l'opposé, le charbon 229 possède seulement 17 % d'inertinite.

Ainsi donc, l'analyse macérale d'un charbon dont le rang est connu, soit par l'indice des matières volatiles, soit par le pouvoir réflecteur de son vitrain, suffit pour prévoir l'indice des matières volatiles de ce charbon et, comme nous le verrons plus loin, certaines de ses propriétés technologiques.

Cette détermination a encore été rendue plus aisée depuis les belles études sur la constitution chimique des principaux macéraux isolés poursuivies notamment par Van Krevelen [5] et Kroger [6] sur des charbons de tous rangs.

D'après les données de ces auteurs, nous avons établi, pour la gamme très large des charbons campinois, dans quelles limites la constitution pétrographique des charbons pouvait influencer l'indice des matières volatiles.

A cet effet, nous avons choisi, d'une part, le charbon dont la constitution pétrographique macérale était susceptible de donner l'indice maximum de matières volatiles et, d'autre part, le charbon dont la composition pétrographique macérale était susceptible de donner l'indice minimum.

La constitution pétrographique de ces charbons était :

V = 77,5 % E = 11,1 % I = 12,4 % pour le premier.
 V = 51,2 % E = 8,8 % I = 40,0 % pour le second.

Donnant à V, E et I (*) les valeurs trouvées par Van Krevelen pour des charbons de tous rangs, nous avons obtenu les deux courbes de la figure 5.

Ces deux courbes montrent que la différence d'indice des matières volatiles due à la constitution pétrographique macérale des charbons augmente lorsque le rang diminue et peut atteindre plus de 5 % dans les charbons d'indice 35 %.

La connaissance de ces différences est particulièrement importante pour les géologues et les exploitants lorsqu'ils désirent utiliser la règle de Hilt.

(*) Nous avons considéré que l'exinite était formée à parts égales de semi-fusinite, de fusinite et de micrinite. Nous avons pris comme indice de matières volatiles de la semi-fusinite une valeur moyenne entre l'indice de la vitrinite et celui de la fusinite.

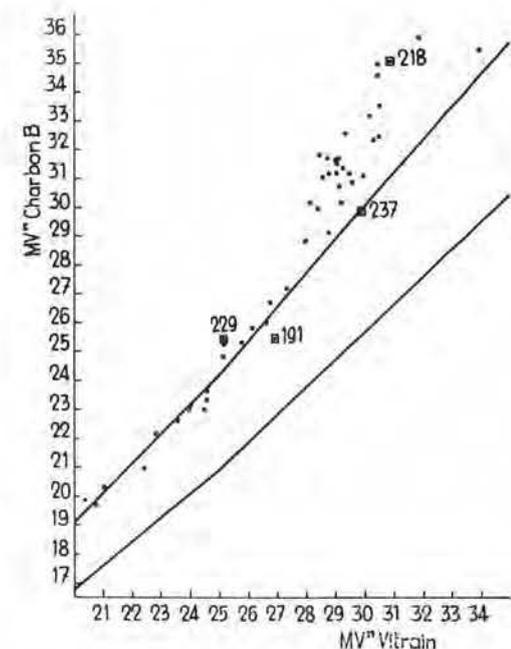


Fig. 5.

A côté de ces courbes, figurent les points représentatifs de l'indice des matières volatiles des charbons campinois.

Pour des indices de vitrain de 20 à 27 %, ces points se placent le long de la courbe maximum obtenue avec les données de Van Krevelen, mais pour des indices supérieurs à 27 %, les points sont situés nettement au-dessus de la courbe maximum.

Cette différence est certainement due à la différence de méthodes de détermination des matières volatiles et elle est d'autant plus forte que les constituants analysés sont plus riches en matières volatiles.

Etant donné la grande analogie entre les courbes obtenues avec les données de Van Krevelen et nos propres résultats, nous avons calculé, d'après les mêmes données de Van Krevelen et la constitution pétrographique macérale des charbons campinois, quel devait être leur indice de matières volatiles, et

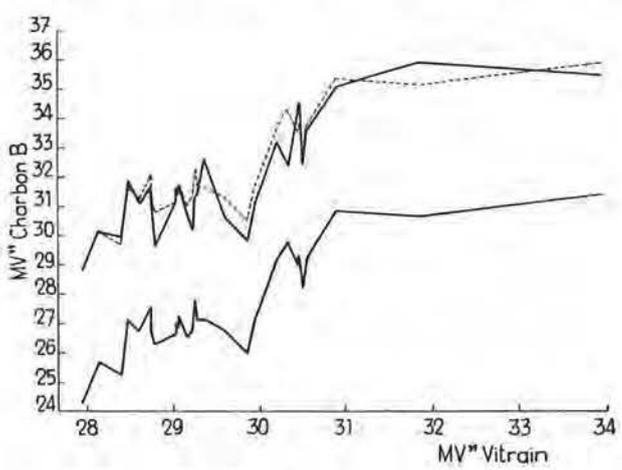


Fig. 6.

nous comparons dans la figure 6 l'indice calculé et l'indice obtenu expérimentalement.

Comme on le voit, les deux courbes sont remarquablement analogues, mais elles sont séparées par une valeur correspondant à environ 4,5 % de matières volatiles. Cette analogie apparaît mieux encore avec la courbe en pointillé fin qui élève uniformément la courbe des indices calculés d'une valeur d'indice de 4,5 %. A un petit nombre d'exceptions près, la différence entre ces deux courbes n'excède pas 1 % de matières volatiles.

Il en résulte que, connaissant le rang d'un charbon et sa composition pétrographique macérale, on peut en déduire son indice de matières volatiles. Inversement, et ceci est particulièrement vrai pour les charbons dont la vitrinite a plus de 27 % de matières volatiles, l'indice des matières volatiles ne suffit pas pour déterminer le rang d'un charbon et par conséquent ses propriétés technologiques. Il faut nécessairement connaître aussi, soit le rang de son vitrain, soit sa composition pétrographique macérale.

B. Constitution pétrographique, niveau stratigraphique et propriétés cokéfiantes des charbons.

L'appréciation des propriétés cokéfiantes des charbons de Campine fait l'objet de la deuxième partie de ce travail.

Comme critère du pouvoir cokéfiant, nous décrivons les résultats de l'essai dilatométrique. Cet essai a été réalisé comparativement sur 50 charbons et sur les 50 vitraïns correspondants.

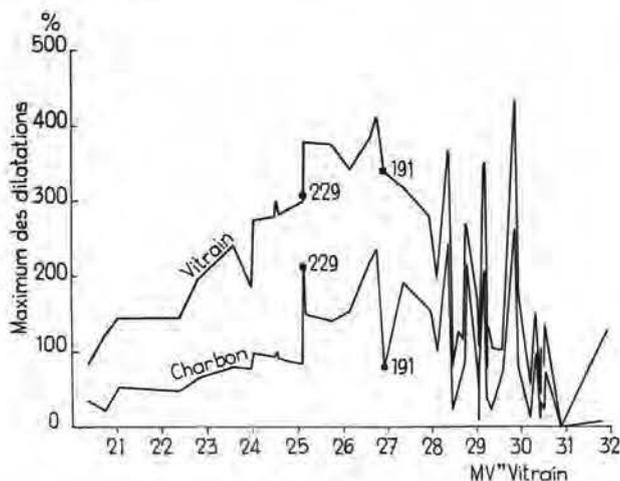


Fig. 7.

Comme critère de comparaison, nous avons choisi le pourcentage maximum de dilatation. Les résultats ont été portés, dans le diagramme de la figure 7, sur deux courbes établies en fonction du rang des charbons, déterminé par l'indice des matières volatiles de leur vitrain.

De l'examen de ces deux courbes ressortent les points suivants :

- 1) le maximum de dilatation du vitrain est toujours plus élevé que le maximum de dilatation du charbon correspondant ;
- 2) les deux courbes présentent une allure analogue, ce qui indique qu'à un vitrain à fort pouvoir dilatométrique correspond généralement un charbon à forte dilatation et inversement.

Notons toutefois deux exceptions en sens opposé pour les charbons 229 et 191, dont la constitution pétrographique s'est déjà révélée exceptionnelle.

Au point 229, on constate en effet que le pouvoir dilatométrique du charbon est presque l'équivalent de celui du vitrain. Or, nous avons vu qu'il possède précisément le plus fort pourcentage en vitrinite de tous les prélèvements, soit près de 80 %.

A l'opposé, le pouvoir dilatométrique du charbon 191 est beaucoup plus faible que celui de son vitrain. Or, ce charbon est précisément celui qui possède le plus fort pourcentage en inertinite et le plus faible pourcentage en vitrinite.

La composition pétrographique joue donc, à n'en pas douter, un rôle important sur le comportement dilatométrique des charbons.

Pour nous dégager de cette influence, il convient d'examiner, seule, la courbe du pouvoir dilatométrique maximum des vitraïns.

L'examen de cette courbe révèle que, lorsque l'on passe de l'indice 20 à l'indice 27 % de matières volatiles, le pouvoir dilatométrique du vitrain augmente assez régulièrement.

Par contre, dans la zone des indices supérieurs à 27 %, la courbe devient extrêmement irrégulière ; des vitraïns d'indices très rapprochés montrent des pouvoirs dilatométriques très différents : il n'existe donc plus de relation entre le pouvoir dilatométrique du vitrain et son indice des matières volatiles.

Certains de ces vitraïns de bas rang présentent un pouvoir dilatométrique considérable. Il est, par conséquent, fort important pour un exploitant de charbonnage, dont le gisement contient de tels charbons, de pouvoir prévoir quelles en seront les propriétés cokéfiantes.

C'est pourquoi nous avons recherché, avec grand soin, un facteur variant avec le pouvoir dilatométrique des vitraïns de bas rang, en tenant compte d'un grand nombre de facteurs chimiques, pétrographiques, géologiques et géographiques.

Dans la figure 8 qui décrit à forte échelle le pouvoir dilatométrique des vitraïns de bas rang, nous avons constaté que la plupart des vitraïns à fort pouvoir dilatométrique appartiennent à un même charbonnage et, plus précisément encore, à des couches stratigraphiquement voisines, par exemple aux couches 10, 11, 12 et 15.

Par ailleurs, beaucoup de vitraïns à très faible pouvoir dilatométrique appartiennent à un autre

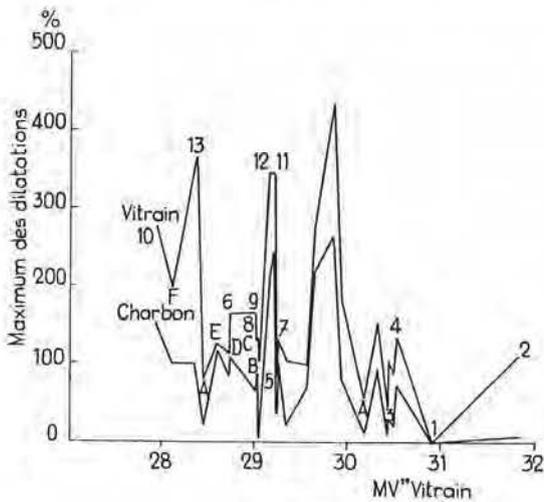


Fig. 8.

charbonnage et à des couches qui sont, elles aussi, stratigraphiquement voisines, par exemple : A, B, C, D et E.

Il semble résulter de cette constatation que la position stratigraphique des veines de houille doit jouer un rôle important sur le pouvoir dilatométrique des vitrains de bas rang. C'est pourquoi nous avons établi, par charbonnage, des courbes qui donnent, en fonction de leur position stratigraphique dans le gisement, le pouvoir dilatométrique maximum et l'indice des matières volatiles des vitrains. Comme niveau repère, nous avons choisi l'horizon marin de Quaregnon, qui se trouve à peu près au milieu de l'échelle stratigraphique du gisement houiller campinois et qui y est reconnu sur toute son étendue.

Si l'on considère, dans la figure 9, la série de couches 1 à 14 d'un premier charbonnage, on constate que, dans l'ensemble, le pouvoir dilatométrique du vitrain est d'autant plus élevé qu'il appartient à des couches situées plus bas dans l'échelle stratigraphique.

On passe assez régulièrement de la dilatation nulle du vitrain de la couche 1 à la dilatation record (plus de 400 %) du vitrain de la couche 14.

Or, l'indice des matières volatiles du vitrain de toutes ces couches et notamment celui des couches 5 à 13 a fort peu varié ; il est resté entre 28 et 29 %.

Un phénomène identique se présente dans un second charbonnage, dont les 8 couches ont été marquées A à H ; augmentation régulière du pouvoir dilatométrique du vitrain pour des niveaux stratigraphiques de plus en plus bas et très faible diminution de l'indice des matières volatiles.

Les courbes 5 à 14 et A à H sont pratiquement superposables, ce qui implique une analogie profonde pour des stamper houillères qui sont cependant séparées stratigraphiquement par quelque 400 m.

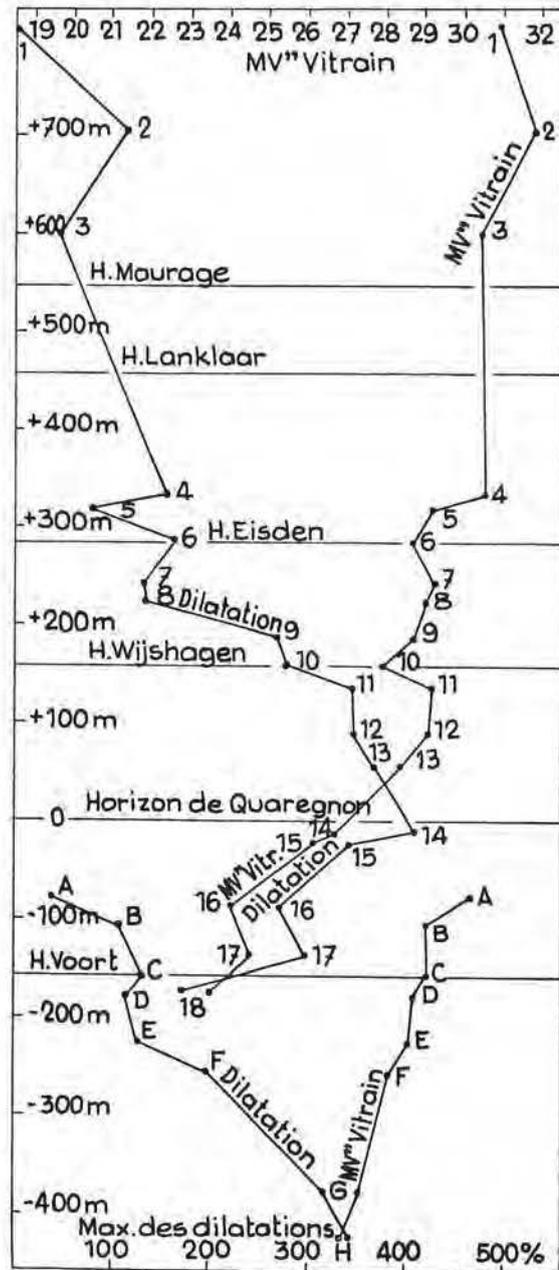


Fig. 9.

Par contre, si nous considérons le vitrain des couches 14 à 18 du premier charbonnage, dont l'indice des matières volatiles est, cette fois, plus faible que 27 %, nous constatons que le pouvoir dilatométrique évolue de façon tout à fait inverse ; il diminue dans l'ensemble avec l'approfondissement stratigraphique en suivant toutefois de façon fidèle les fluctuations de l'indice des matières volatiles.

Ce phénomène est encore mieux mis en évidence dans l'étude des vitrains des couches a à h d'un troisième charbonnage, représentés à la figure 10.

Le pouvoir dilatométrique du vitrain suit ici aussi, de façon très fidèle, les fluctuations de l'indice des matières volatiles. Il est plus élevé pour les vitrains

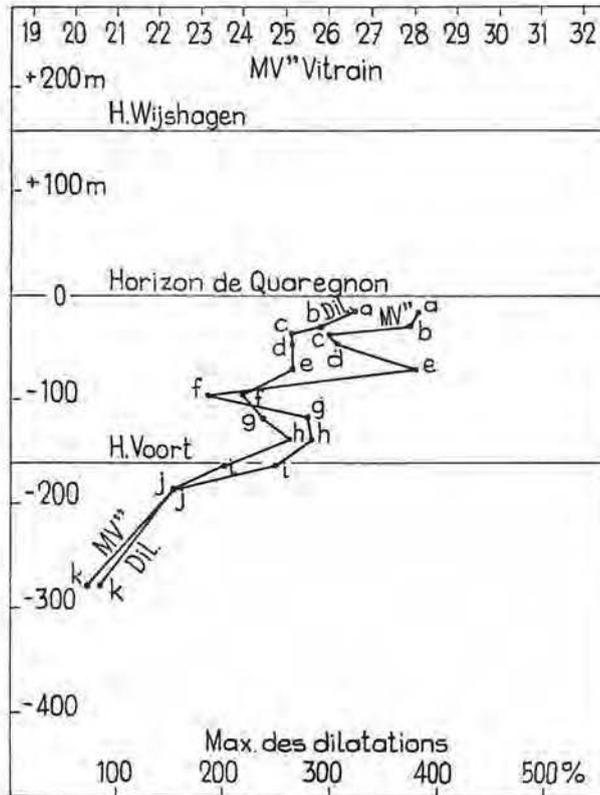


Fig. 10.

d'indice élevé, plus faible pour des indices plus faibles.

Ainsi donc, compte tenu du rôle joué par leur composition pétrographique, les charbons ont un comportement dilatométrique qui, dépendant étroitement de celui de leur vitrain, est très différent selon que ce charbon se trouve à un stade antérieur ou postérieur au saut de houillification.

Dans le stade antérieur au saut de houillification, le pouvoir dilatométrique du charbon (qui peut être très élevé) dépend principalement de la position stratigraphique de la couche dont il est extrait.

Dans le stade postérieur au saut de houillification, le pouvoir dilatométrique est en relation étroite avec l'indice des matières volatiles; à un indice élevé correspond un fort pouvoir dilatométrique et inversement.

Par ailleurs, les courbes des figures 9 et 10 montrent encore que la diminution de l'indice des matières volatiles des vitraïns, en fonction de l'abaissement du niveau stratigraphique, est un phénomène extrêmement irrégulier. Cette irrégularité se complique encore si l'on considère non plus le vitrain, mais le charbon global, car à ce moment,

comme nous l'avons vu plus haut, la composition pétrographique macérale du charbon joue elle aussi un rôle important sur l'indice des matières volatiles.

Une étude approfondie de ces irrégularités, qui sort du cadre de ce travail, a montré qu'elles devaient être en relation avec les conditions de formation des veines de houille. Quoi qu'il en soit, les résultats présents montrent avec quelle circonspection il faut, dans l'étude des gisements, utiliser des règles apparemment très simples, comme la règle de Hilt.

Ceci met enfin en relief l'utilité croissante que prend l'étude de la constitution pétrographique des charbons et des propriétés des macéraux pour une exploitation rationnelle des gisements et une utilisation féconde des charbons.

Ces résultats sont le fruit d'un travail d'équipe. Sous la direction du Dr. Coppens, MM. W. Fassotte, licencié en sciences chimiques, et W. Duhamel, ingénieur technicien chimiste, ont réalisé les analyses chimiques et les essais technologiques; M. G. Pulinckx, gradué en chimie, R. Jorissen et A. Grutman, préparateurs techniciens, ont été mes actifs collaborateurs dans la partie pétrographique. Qu'ils trouvent ici l'expression de toute ma reconnaissance.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

- [1] L. COPPENS et J. VENTER : Mise au point d'un ensemble de méthodes d'analyses et d'essais des houilles. - 1^{re} communication : L'analyse immédiate. Inchar, Bull. Techn. Houille et Dérivés, n° 4, janvier 1951. - 5^{me} communication : Quelques déterminations relatives aux propriétés cokéfiantes des houilles. Ibidem n° 8, mars 1955 et n° 12, novembre 1957.
- [2] K. KOETTER : Die mikroskopische Reflexionsmessung mit dem Photomultiplier und ihre Anwendung auf die Kohlenuntersuchung. Brennstoff-Chemie, n° 9, septembre 1960, p. 263/272.
- [3] E. STACH et K. LEHMAN : Die praktische Bedeutung der Ruhrkohlenpetrographie. Glückauf 1930, p. 289/299.
- [4] COMITE INTERNATIONAL DE PETROLOGIE DES CHARBONS : Glossaire de Pétrologie des Charbons. Edition 1957. Edité par le Centre National de la Recherche Scientifique à Paris.
- [5] D.W. VAN KREVELEN, H.N. DORMANS, F.J. HUNTJES : Vergleichendes Studium einiger physikalischen und chemischen Eigenschaften und der Konstitution der Steinkohlenmazerale. Second Inter. Conf. on Coal Science; Symposium on Physico-Chemical Studies of Coal Macerals, Valkenburg, mai 1957.
- [6] C. KROGER : Ueber die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Steinkohlengefügebestandteile. Second Inter. Conf. on Coal Science, Valkenburg 1957.