

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES
74, rue de la Fédération - Paris 15ème - Tél. 783 94-00

DIRECTION DU SERVICE GEOLOGIQUE ET DES LABORATOIRES
Boîte postale 818 - 45 - Orléans-La Source - Tél. 87-06-60 à 64

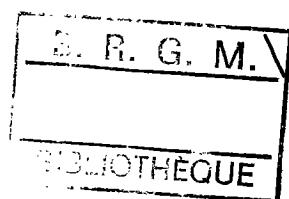
LA MATIERE ORGANIQUE DES ROCHES

SES METHODES D'ETUDE ET SA SIGNIFICATION

EN GEOLOGIE

par

J.P. RAGOT



Département Laboratoires
45 - Orléans La Source
B.P. 818 - Tél. 87-06-60

68 SGL 079 LAB

Juin 1968

S O M M A I R E

INTRODUCTION

1ère PARTIE :

GENERALITE SUR LES SUBSTANCES ORGANIQUES FOSSILES

	Pages
A / Classification des substances organiques fossiles.	3
B / Classification pétrographique des charbons	4
C / Rappel de notions générales sur la genèse des Substances organiques fossiles.	7
D / Evolution de quelques propriétés physiques des charbons en fonction de leur rang.	10

2ème PARTIE :

METHODES D'ETUDE DE LA M.O. DES ROCHES MISES EN OEUVRE AU DEPARTEMENT LABORATOIRES

A / Techniques d'extraction et de préparation	12
B / Méthodes d'étude.	14
C / Portées et limites des méthodes mises en oeuvre.	20

3ème PARTIE :

SIGNIFICATION DE LA M.O. DES ROCHES EN GEOLOGIE

A / Géologie générale	21
B / Sédimentologie	22
C / Stratigraphie	"
D / Métallogénie	23

CONCLUSIONS

27

ANNEXE

- | | Pages |
|--|-----------|
| - Liste des échantillons dont la matière organique a été étudiée au Département LABORATOIRES | (a) à (e) |
| - Liste des comptes rendus concernant l'étude de certains échantillonnages. | (f) |

BIBLIOGRAPHIE

Sélection de travaux concernant l'étude des substances organiques fossiles en géologie appliquée.

I à IV

o
o o

LISTE DES PLANCHES ET TABLEAU

PLANCHE EN INTRODUCTION

Relation entre le degré d'évolution des particules charbonneuses et la présence de pétrole dans une série sédimentaire.

TABLEAU REPORTÉ EN FIN DE RAPPORT

Relation entre le degré de carbonification - ou rang - des charbons , leur composition chimique, et le pouvoir réflecteur de la vitrinite.

PLANCHES

- 1 / Evolution du pouvoir réflecteur des macéraux des charbons en fonction de la profondeur.
- 2 / Evolution des charbons vers la structure du graphite (graphitation)
- 3 / Evolution de quelques propriétés physiques des charbons en fonction de leur rang.
- 4 / Organigramme de traitement d'échantillons bitumineux utilisé en géochimie du pétrole.
- 5 / Analyse thermo-pondérale de diverses substances organiques fossiles.
- 6 / Courbes diffractométriques par réflexion des R.X. d'échantillons de graphitoïde et de graphite.
- 7 / Courbes diffractométriques par réflexion des R.X. d'échantillons de graphitoïde et d'anthracite.
- 8 / Mesure du taux de graphitation des substances graphitoïdes.
- 9 et 10 / Planches photographiques.

INTRODUCTION

Au cours de cette dernière décennie, d'importants progrès ont été réalisés dans la connaissance des substances organiques fossiles. Des tests de routine, utilisés en pétrographie des charbons, permettent à présent de distinguer ce qui appartient :

- d'une part, au type (ou variété au sens strict) d'une substance organique fossile,
- d'autre part, à son degré d'évolution, que cette substance se trouve sous forme concentrée (charbon, bitume), ou sous forme dispersée dans une roche.

Un mode d'évolution général de la Matière Organique (M.O.) des roches est, en effet, sa carbonification, processus qui conduit toute M.O. vers un terme final, le graphite. Ce processus, qui consiste en une perte progressive des éléments qui accompagnent le Carbone dans la matière vivante, est irréversible ; il a lieu, notamment, au cours de l'enfouissement des séries sédimentaires. Il peut être accéléré, localement, par une élévation de température anormale.

Il est possible, à présent, d'évaluer le degré de carbonification d'un charbon par la mesure du pouvoir réflecteur d'un de ses constituants microscopiques, la vitrinite. Ces mesures peuvent s'effectuer sur des plages de quelques microns, aussi un champ d'application considérable s'est-il trouvé ouvert : celui des particules de M.O. solides dispersées dans les roches.

En géologie pétrolière, notamment, des initiatives n'ont pas tardé à se manifester pour exploiter ces possibilités nouvelles. Ainsi la planche jointe, page suivante, rend compte de la relation entre le degré d'évolution des particules charbonneuses et la présence de pétrole dans une série sédimentaire.

Des courbes d'isoteneur en matières volatiles (fig. 1) ont pu être tracées : en dessous d'une teneur de 40%, il n'y a pratiquement

RELATION ENTRE LE DEGRE D'EVOLUTION DES PARTICULES CHARBONNEUSES ET LA PRESENCE DE PETROLE DANS UNE SERIE SEDIMENTAIRE (Série Crétacé de la Région de HANOVRE).

- Paramètres d'évolution déduits de la mesure du pouvoir réflecteur des particules.

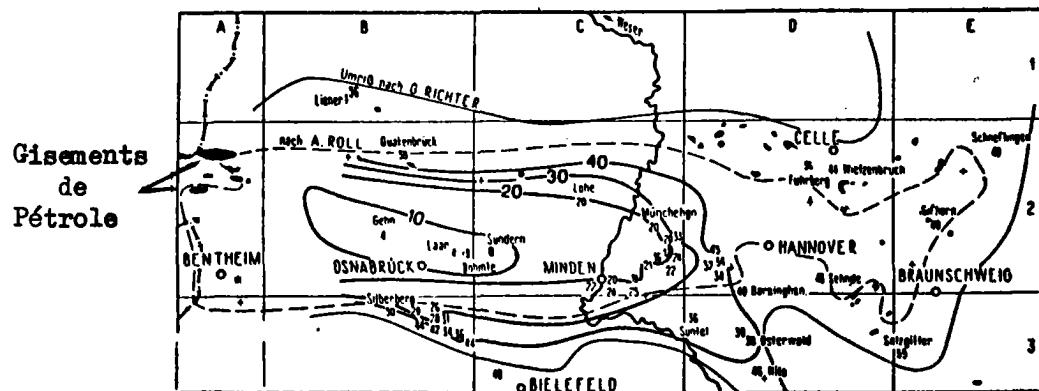


Fig.1 - Teneur en matières volatiles en %

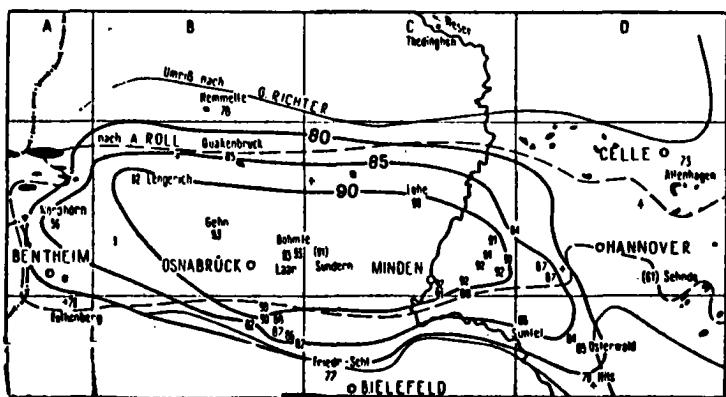


Fig. 2 - Teneur en Carbone en %
(C + H + O = 100)

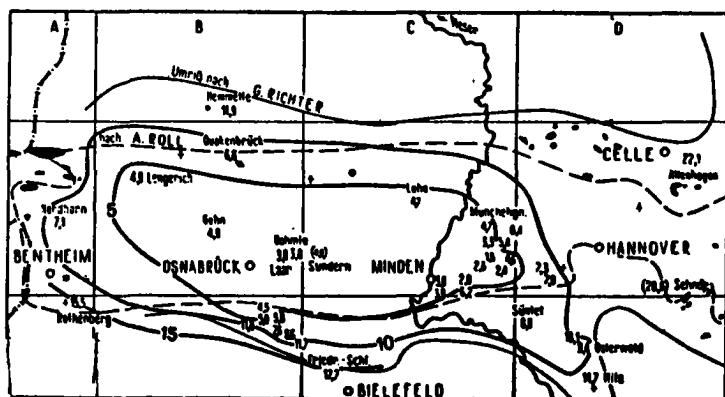


Fig. 3 - Teneur en Oxygène en %
(C + H + O = 100)

D'après M. TESCHMULLER 1958 -

plus d'hydrocarbures exploitables (en raison d'une perte des fractions légères). D'autres paramètres d'évolution ont pu être déduits du pouvoir réflecteur des particules : teneur en Carbone (fig. 2), teneur en Oxygène (fig. 3). (M. TEICHMULLER 1958 - Voir bibliographie).

Aussi nous est-il apparu intéressant de tenter la même démarche dans le contexte de la géologie appliquée, prise dans son sens large.

Le but de ce rapport est de rendre compte de nos premiers résultats. Il comprend 3 parties :

- 1 - Rappel des généralités sur les substances organiques fossiles.
 - 2 - Méthodes d'études de la matière organique (M.O.) disséminée dans les roches, mises en oeuvre au Département LABORATOIRES.
 - 3 - Signification de la M.O. des roches en Géologie - quant à ses variétés et quant à son degré d'évolution.
-

1ère PARTIE

GENERALITES SUR LES SUBSTANCES ORGANIQUES FOSSILES

A / CLASSIFICATION DES SUBSTANCES ORGANIQUES FOSSILES -

Il existe deux grandes classes de substances organiques fossiles : les charbons et les bitumes.

Les charbons sont des produits d'évolution *in situ* d'une matière organique d'origine essentiellement végétale qui s'est sédimentée. Ils sont solides.

Les bitumes sont des produits d'évolution mobiles de cette même matière organique originelle. Ils sont liquides et gazeux et s'accumulent dans des roches-réservoirs (gisements pétrolifères). Une fois en place ils peuvent évoluer en substances pâteuses à solides : asphaltenes à asphaltoïdes.

En ce qui concerne les substances organiques solides, forme fossile de loin la plus répandue, une certaine ambiguïté existait jusqu'à ces dernières années entre :

- leur nature originelle (ou type, ou variété)
- leur degré d'évolution, ou degré de carbonification au cours, notamment, de l'enfouissement des séries sédimentaires; cette transformation conduit toute substance vers un terme final : le graphite.

Cependant, un mode de classification récent, basé sur des critères pétrographiques a permis de faire des progrès décisifs dans la diagnose et dans la compréhension non seulement des charbons, mais également de toute matière organique susceptible d'être polie. De plus, les limites d'observation et de mesure des pouvoirs réflecteurs ayant été reportées jusqu'au pouvoir séparateur du microscope, un champ d'application considérable se trouve ouvert : celui des particules carbonées incluses dans un grand nombre de roches.

B / CLASSIFICATION PETROGRAPHIQUE DES CHARBONS -

(a) Notion de macéral et définition des différentes variétés de charbon

Dans cette classification nouvelle, les différents constituants microscopiques des charbons sont "assimilés" à des minéraux et désignés sous le terme de macéral ; ce terme vient de macération, opération qui permet de séparer les éléments constitutifs des charbons, et de minéral. On y distingue 3 groupes (Voir illustration, planche 9, clichés 1 et 2).

1°/ Groupe de la vitrinite : produits de gélification (texture homogène) des tissus ligno-cellulosiques. Ce groupe se réduit en pratique à un seul macéral appelé vitrinite ; il constitue le macéral de référence pour la mesure des pouvoirs réflecteurs.

2°/ Groupe de l'exinite : résidus fossiles d'éléments figurés et de productions végétales originellement riches en corps gras (série aliphatique) tels que cuticules de feuille, spores, algues, résines, cires ... Les bitumes solides sont rangés actuellement dans ce groupe.

- Les pouvoirs réflecteurs des macéraux de ce groupe sont relativement moins élevés que ceux de la vitrinite, dans un même échantillon (Voir également Planche 1).

3°/ Groupe de l'inertinite : résidus fossiles d'éléments figurés (débris cellulaires) riches en composés aromatiques (lignine, en particulier).

- Les pouvoirs réflecteurs des macéraux de ce groupe sont relativement plus élevés que ceux de la vitrinite.

L'abondance relative des macéraux de ces différents groupes permet de définir toute variété de charbon. Il en existe deux catégories :

1°/ Charbons d'origine ligno-cellulosique, les plus courants appelés également charbons "humiques" en raison de l'abondance des composés humiques au stade précoce de leur formation dans les tourbières.

- Ces charbons sont relativement pauvres en macéraux du groupe de l'exinite.

2° / Charbons d'origine diverses, groupés autrefois sous l'appellation de charbons "sapropéliques".

- Ces charbons riches en exinite, se définissent par leur abondance relative en macéraux de ce groupe : ex Bog-head ou charbon à algue, Cannel-coal ou charbon à spore ..

(b) Définition du rang des charbons par la mesure du pouvoir réflecteur de la vitrinite

Le rang ou degré de carbonification des charbons - par perte en éléments volatils - à un stade déterminé de leur enfouissement (relation de Hilt : 1873) comporte les étapes suivantes (Voir tableau hors texte Colonne 1).

1° / Rang des tourbes

2° / Rang des lignites, tendre à dur

3° / Rang des houilles, flambante à maigre.

4° / Rang des anthracites, et métanthracites.

5° / Rang du graphite, terme final de la série évolutive.

Depuis longtemps le rang d'un charbon courant (d'origine ligno-cellulosique) se définit par les critères suivants (Voir Tableau colonnes 2 à 4) :

1° / Taux d'humidité (perte de poids à 105° C)

2° / Teneur en matières volatiles (perte de poids de 105 à 960°C, selon les normes AFNOR).

3° / Teneur en "Carbone fixe" (résidu carboné après départ des matières volatiles, déduction faite des cendres).

Cependant, on conçoit aisément que le rendement en matières volatiles d'un charbon est différent d'une variété de charbon à l'autre, toute chose égale par ailleurs ; ainsi les Bogheads du rang des houilles donnent jusqu'à 65% de matières volatiles. Pour obtenir des valeurs comparables dans l'appréciation du rang d'un charbon, il faut faire cette

détermination sur un même macéral, commun à toutes les variétés : la vitrinite a été choisie comme macéral de référence pour les raisons suivantes :

- 1° / Elle est le macéral le plus abondant, et par conséquent le plus représentatif.
- 2° / Il est relativement aisé de l'identifier et de l'isoler.
- 3° / Ses propriétés physiques et chimiques, ainsi que des études statistiques l'ont établi, varient de façon continue avec la carbonification.

Or, les variations de l'une de ces propriétés, le pouvoir réflecteur sur section polie (voir planche 1), peuvent être mesurées directement sur l'échantillon sans avoir à opérer de concentration. De plus, ces mesures pouvant être faites sur des fragments de quelques microns, elles correspondent à de véritables microanalyses ponctuelles (voir planche en introduction, les différents paramètres chimiques qui peuvent être déduits de la mesure du pouvoir réflecteur des particules charbonneuses).

C /

RAPPEL DE NOTIONS GENERALES SUR LA GENÈSE DES SUBSTANCES
ORGANIQUES FOSSILES

La formation de la matière organique fossile s'accomplice schématiquement de la façon suivante (DEGENS 1965) :

1° / Destruction microbiologique et chimique (hydrolyse) de macromolécules biochimiques originelles telles que hydrates de carbone (sucre et cellulose), lignine, protéines, lipides.

Cette destruction conduit, en particulier, à la formation de CO_2 et d' H_2O en condition aérobie, et à celle de CH_4 en condition anaérobie.

2° / Condensation des produits d'hydrolyse et de métabolisme entraînant la formation de "polycondensats" désignés sous le terme de "gel humique".

3° / Lente maturation inorganique - pouvant aller jusqu'au graphite - des "polycondensats" par perte de groupe fonctionnels, le facteur essentiel étant la température.

Cette perte en groupes fonctionnels conduit notamment à une nouvelle génération de CO_2 et d'hydrocarbures liquides et gazeux (bitumes).

- Ces considérations ont avantage à être reprises en adoptant comme étapes d'évolution, les différents degrés de carbonification ou rangs que nous avons définis à propos de la classification des charbons.

Ainsi, les deux premières étapes de formation de la M.O. fossile distinguées par DEGENS correspondent à la turbification (fossilisation au sens restreint) ; la troisième couvre tous les autres degrés de la série évolutive des charbons : lignification, houillification, graphitation.

Précisons que cette notion de série évolutive des charbons implique l'existence de stades d'évolution analogues à celui des tourbes, des lignites, des houilles et des graphites observés actuellement dans des séries sédimentaires d'âge très différents. Elle ne sous-entend pas une identité de composition originelle - chimique ou botanique - de ces substances.

(a) Turbification

Ce processus évolutif des substances végétales sédimentées aboutit à un matériel très riche en eau, pauvre en matières volatiles. Les formes végétales originelles sont reconnaissables en détail au microscope : ils contiennent encore de la cellulose libre.

(b) Lignification

Comme l'indique la colonne 2 du Tableau, la lignification correspond essentiellement, du point de vue chimique, à une perte en eau; les teneurs passent de 75 à 10% sous l'effet, notamment, de la compaction des sédiments.

Au microscope, on observe une "gélification" progressive des tissus ligneux restés intacts au stade des tourbes; les divers macéraux peuvent se différencier au microscope par leur pouvoir réflecteur.

(c) Houillification

Ce processus correspond à une perte très importante en matières volatiles, les teneurs passant de 45 à 10%, le facteur essentiel étant la température (Voir discussion 3^{ème} partie, page 21)

Cette perte en volatils conduit à la formation massive des CO₂ et CH₄. Les bitumes liquides perdent également leurs constituants les plus légers : ils s'épaissent et deviennent impropre à une mise en production.

La M.O. tend à s'homogénéiser, au niveau des anthracites,

on ne peut plus distinguer les macéraux par leur pouvoir réflecteur. De plus, la structure polyaromatique propre au graphite est déjà avancée au rang des anthracites (Voir fig. 1 planche 2).

(d) Graphitation

La perte en volatils (5 à 0%) s'accompagne d'un "arrangement" progressif du réseau cristallin de la substance "graphitoïde" : les plans réticulaires s'ordonnent, et tendent à prendre l'espacement caractéristique du graphite SS (ex. $3,35 \text{ \AA}$ pour les plans 002 - voir fig. 2 planche 2).

o
o o

D /

EVOLUTION DE QUELQUES PROPRIETES PHYSIQUES DES CHARBONS
EN FONCTION DE LEUR RANG

Les propriétés physiques des charbons subissent de profondes modifications au cours de leur transformation dans les séries sédimentaires. Certaines de ces propriétés peuvent être responsables d'anomalies observées tant en géophysique qu'en géochimie.

A titre indicatif, nous attirerons l'attention sur l'évolution des propriétés électriques et de la capacité d'absorption des charbons en fonction de leur degré de carbonification exprimé en %. (ordonnées des courbes de la planche 3).

1° / Propriétés électriques

Parmi ces propriétés la constante diélectrique et la conductivité électrique sont les plus importantes. Selon la théorie de MAXWELL la constante diélectrique d'un isolant ne possédant pas de dipôles permanents est égal au carré de l'indice de réfraction. Dans le cas du charbon ceci est vrai seulement pour une teneur en Carbone de 87% - (Voir fig. 1 planche 3). Pour une teneur plus faible ou plus élevée en Carbone, $\epsilon > n^2$; dans le premier cas ceci doit être attribué à l'effet des dipôles permanents, dans le second à la semi-conductivité .

La résistivité électrique ρ chute rapidement pour une teneur en Carbone supérieure à 87%; cette valeur décroît exponentiellement avec l'élévation de la température selon la relation pour un semi-conducteur :

$$\rho = A \exp \left(\frac{\Delta u}{2 k T} \right)$$

La barrière de potentiel Δu décroît en fonction du rang du charbon (Voir fig. 2 - planche 3) la résistivité décroît en conséquence, et le charbon acquiert, alors, rapidement, les propriétés conductrices bien connues du graphite.

2^o / Propriétés sorptives

Le charbon possède un pouvoir sorptif en raison de sa surface spécifique interne et des groupes fonctionnels polaires qu'il contient. Pratiquement tous les gaz peuvent être fixés par le charbon en plus ou moins grande quantité. L'absorption du méthane qui conditionne son comportement dans les veines de charbons (Voir fig. 3 - planche 3) est un phénomène géologiquement très important.

o
o o

2ème PARTIE

METHODES D'ETUDE DE LA M.O. DES ROCHES
MISES EN OEUVRE AU DEPARTEMENT LABORATOIRES

Nous ferons la distinction dans cet exposé entre les techniques d'extraction et de préparation de la M.O., et ses méthodes d'étude proprement dites. Ces techniques, en effet, sont fondamentales : ce sont elles qui permettent d'appliquer la méthodologie élaborée dans l'industrie des bitumes et des charbons à la M.O. dispersée dans les roches.

A / TECHNIQUES D'EXTRACTION ET DE PREPARATION DE LA M.O.

1° - TECHNIQUES d'EXTRACTION et de FRACTIONNEMENT

(a) Fraction gazeuse (pour mémoire)

Cette fraction est extraite de la roche par désorption sous vide, avant et après attaque à HCl.

Signalons, toutefois, la possibilité d'analyser les hydrocarbures gazeux à liquides existant à l'état d'inclusions dans certains minéraux, en plaçant directement quelques cristaux dans le bloc d'entrée (injecteur) d'un chromatographe en phase gazeuse ; les hydrocarbures sont libérés par éclatement des cristaux sous l'effet de la chaleur (essais réalisés aux Laboratoires E.R.A.P.)

(b) Fraction liquide à pâteuse

Cette fraction est extraite par mise en solution sous l'action de divers solvants organiques, avant et après attaque à HCl : voir planche 4, un organigramme de traitement.

Nous avons mis en oeuvre ces techniques (en collaboration avec l'Institut Français du Pétrole) en vue de préciser la nature chimique de pigments organiques colorant en rouge une sépiolite oligocène, la Quincite. (voir compte rendu n°5 en annexe - page f).

(c) Fraction solide

C'est de loin la fraction la plus répandue dans les roches.

Il y a lieu de distinguer en ce qui concerne les techniques d'extraction de la M.O. présente dans les roches sous forme de particules solides :

- celles qui conditionnent l'application des méthodes d'étude optiques : examen au microscope, mesure des pouvoirs réflecteurs .. ; elles correspondent plutôt à des techniques de concentration,
- celles qui permettent une étude physique et chimique de la M.O. des roches (Kérogène des auteurs anglo-saxons).

Les premières sont de mises en oeuvre aisées ; elles sont utilisées en routine en palyno-planctologie.

Les secondes sont plus longues et plus délicates car elles doivent aboutir dans certains cas à des extraits de M.O. de grande pureté (voir plus loin, à propos des méthodes diffractométriques).

Toutes font appel :

- à la destruction de la phase minérale par attaque acide : HCl, (HF)² ...
- à la séparation de la M.O. (de la phase minérale partiellement détruite ou non) par liqueur dense, ou par flottation.

2° - TECHNIQUES de POLISSAGE

Le polissage des charbons et des bitumes solides est déjà une opération délicate ; on conçoit que cette opération est plus difficile encore dans le cas des particules tendres, rendues fragiles par carbonification (fissures de retrait), disséminées dans une roche dure.

Trois types de polissage ont été mis au point :

- section de roche polie (modèle classique)
- lame mince de roche polie permettant un examen en lumière réfléchie et transmise.
- extrait de M.O. monté à la résine et poli.

B /

METHODES D'ETUDE

Nous n'exposerons, ci-après, que les méthodes relatives aux formes solides de la matière organique des roches. Elles s'intègrent très bien aux méthodes d'étude déjà en place dans le Département LABORATOIRES et n'ont nécessité que des adaptations de détail.

1^o - METHODES OPTIQUES

Ces méthodes sont devenues d'un intérêt primordial pour la connaissance des substances organiques fossiles. Dans l'industrie des charbons elles sont actuellement utilisées en routine.

Rappelons, en effet, qu'examen et mesures en lumière réfléchie permettent d'effectuer à la fois :

- une diagnose de la M.O. par identification au microscope des différents macéraux dont elle est constituée.
- une appréciation de son degré d'évolution par la mesure du pouvoir réflecteur d'un macéral de référence, la vitrinite.

Mesure du pouvoir réflecteur

Le pouvoir réflecteur R d'un échantillon est le rapport de l'intensité de la lumière I_r réfléchie par surface polie de l'échantillon à l'intensité de la lumière incidente I_0 normale à cette surface :

$$R = I_r/I_0$$

Le pouvoir réflecteur est une fonction de l'indice de réfraction n et du coefficient γ , selon la relation de FRESNEL, pour les corps isotropes :

$$R = \frac{(n - 1)^2 + n^2 \gamma^2}{(n + 1)^2 + n^2 \gamma^2}$$

Le coefficient γ intervient dans la formule que donne la lumière I_t transmise par une lame isotrope d'épaisseur x , éclairée par

un faisceau incident normal d'intensité I_0 , et de longueur d'onde λ :

$$I = I_0 e^{-2 \frac{\lambda}{\lambda_0} x}$$

Pour un corps isotrope transparent $\frac{\lambda}{\lambda_0}$ est voisin de 0 et l'on a :

$$R = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2$$

Le rappel de ces formules permet d'attirer l'attention sur l'intérêt de conjuguer les mesures d'indice de réfraction (classiques pour les bitumes), celles de l'absorption de la lumière (teinte plus ou moins foncée des substances organiques fossiles), et celle du pouvoir réflecteur. Toutes ces mesures peuvent se faire sur de très faibles quantités de produits (quelques milligrammes).

L'équipement optique que nous possédons au Service Minéralogie répond dès à présent à cette utilisation. Nous avons acquis déjà une certaine expérience en ce qui concerne les mesures du pouvoir réflecteur grâce au dispositif de mesure en service (photométrie), dispositif décrit dans un travail récent. (C. LEVY 1966).

L'équipement disponible permet d'envisager également une étude de la M.O. des roches par transmission :

- (a) en lumière naturelle, par la mesure de son coefficient d'absorption (méthode déjà utilisée dans d'autres laboratoires en palyno-planctologie, par exemple). Ce paramètre croît avec la carbonification.
- (b) en lumière U.V. par la mesure de son degré de fluorescence - (méthodes déjà utilisée pour les lignites dans l'industrie des charbons); nous prévoyons sa mise en œuvre en liaison avec Mr. CHATEAUNEUF responsable du Service "Palynologie". Ce paramètre décroît avec la carbonification.
- (c) en lumière I.R. pour la mise en évidence des détails de structure invisibles en lumière naturelle.

2° - METHODES THERMIQUES

A titre de confirmation de l'estimation de la teneur en matières volatiles déduite de la mesure des P.R. nous avons tiré parti de l'analyse thermo-pondérale (A.T.P.) pour caractériser de très petites quantités de matière charbonneuse (100 mg) selon les critères classiques des charbons - voir page 5 - :

teneur en eau,
teneur en matières volatiles,
teneur en carbone fixe,
correction de cendre.

Ainsi les courbes de la planche 5 correspondent à la perte en poids, en fonction de la température, de poudre de charbon (matériau de référence) sous atmosphère d'azote.

Compte tenu de la loi de chauffe adoptée (10°/minute)

- le point d'inflexion à 180° C correspond sensiblement à la fin de la perte en eau.
- la perte en poids de 180-960° C, à une perte en matières volatiles.

La perte en poids après combustion sous atmosphère d'oxygène donne :

le % en carbone fixe
le % en cendres

En fait, le % en matières volatiles est en excès par rapport aux normes AFNOR, en raison de la finesse des particules.

Notons également l'allure particulière d'un Bog-head riche en corps gras (charbon à algues) : le départ en matières volatiles est pratiquement total à 500° C.

3°- METHODES DIFFRACTOMETRIQUES (prise : 100 milligrammes)

Nous avons défini précédemment le taux de graphitation comme exprimant un "arrangement" progressif de la structure des substances carbonées anthraciteuses vers la structure cristalline parfaite du graphite S.S.

Les méthodes diffractométriques permettent d'apprécier qualitativement et quantitativement ce taux de graphitation.

(a) Courbes diffractométriques par réflexion des R.X.

La planche 6 rend compte de l'allure d'une courbe diffractométrique de substance graphitoïde extraite d'un schiste Silurien prélevé dans une zone minéralisée des Pyrénées (Région de St Béat - Hte Garonne) par rapport à celle d'un échantillon de graphite S.S.

La planche 7 permet de comparer l'extrait précédent à une substance anthraciteuse extraite des mêmes schistes dans une zone non minéralisée (Région d'Iholdy - Basses Pyrénées).

(b) Clichés de Debye et Scherrer (prise : quelques milligrammes)

Les mêmes caractéristiques cristallographiques se retrouvent sur ces clichés :

la substance anthraciteuse ne présente aucune raie caractéristique,

la substance graphitoïde présente des raies $\bar{d} 002$ et $\bar{d} 004$ très nettes, ainsi qu'un doublet à peine esquissé correspondant aux raies $\bar{d} 101$ et $\bar{d} 100$.

Ces résultats nous ont conduits à rechercher une méthode de détermination quantitative du taux de graphitation. A cet effet, nous avons confié quelques extraits au Laboratoire de la Société CARBONE - LORRAINE (Mr. MAILLARD) où une méthode dite de "l'étaillon interne" a déjà été éprouvée pour des produits graphiteux tant artificiels que naturels.

c / Mesure du taux de graphitation des substances graphitoïdes par la "méthode de l'étaillon interne"
(prise : 200 milligrammes).

Cette méthode consiste à tirer parti d'une courbe diffractométrique obtenue par transmission des R.X. (pour éviter les effets d'orientation des cristallites) à travers une prise de substance graphiteuse à laquelle du rutile en poudre a été incorporé. Une table de correspondance donne l'espacement interfoliaire \bar{d}_{002} à partir de la substance d' - mesurée au $1/10^{\text{ème}}$ de mm - de la raie \bar{d}_{101} du rutile à la raie \bar{d}_{002} de la substance à mesurer. Conventionnellement le taux de graphitation lui-même s'exprime de 0 ($\bar{d}_{002} = 3,45 \text{ \AA}^{\circ}$) à 1 ($\bar{d}_{002} = 3,35 \text{ \AA}^{\circ} = \text{graphite S.S.}$)

Précisément, la substance anthraciteuse signalée précédemment (voir planche 7), possède un espacement \bar{d}_{002} de $3,45 \text{ \AA}^{\circ}$, soit un taux de graphitation de 0 ; la substance graphitoïde (voir planches 6 et 7) un espacement \bar{d}_{002} de $3,360 \text{ \AA}^{\circ}$, soit un taux de graphitation de 0,93.

A titre indicatif, signalons qu'un graphite d'Afrique du Sud a donné un taux de graphitation de 0,91, et un graphite de Sibérie, un taux de 0,99. Enfin, dans le contexte Pyrénéen, des schistes et des marbres touchés par un métamorphisme de contact ont donné, respectivement, des taux de graphitation de 0,96 et 0,97.

Ces essais ayant été concluants, la mise en oeuvre de cette méthode est envisagée dès à présent au Service Minéralogie.

4° - METHODES CHIMIQUES

Ces méthodes concernent :

- (a) la matière organique proprement dite, en tant que combinaison du Carbone avec H, O, S et N (chimie organique).
- (b) les autres éléments, métaux et métalloïdes qui l'accompagnent dans les roches.

Nous manquons d'expérience encore pour exposer les possibilités de ces méthodes dans le cadre du Département LABORATOIRES.

Signalons simplement la possibilité de doser le Carbone organique dans une roche par voie humide (Service Géochimie). Les méthodes de dosage par combustion sont également envisagées.

Enfin, une application intéressante du micro-analyseur à sonde électronique a pu être faite à l'occasion d'une étude sur la localisation du Vanadium dans un schiste bitumineux vanadifère (voir liste des compte-rendus en Annexe page f).

C /

PORTEE et LIMITES DES METHODES MISES EN OEUVRE

Parmi les méthodes exposées ci-dessus, les méthodes optiques sont celles qui ont la plus grande portée, tant pour la diagnose que pour l'appréciation du degré d'évolution de la M.O. des roches.

Les méthodes optiques par réflexion sont d'un intérêt plus limité, du moins l'expérience acquise est-elle encore insuffisante, dans le domaine :

- des lignites, et a fortiori des tourbes, où les valeurs mesurées sont très faibles et trop dispersées.
- des anthracites, et a fortiori des graphitoïdes, en raison surtout d'une anisotropie de type ondulant dans des contextes tectonisés (voir cliché 3 planche 9).

En tant que méthodes complémentaires signalons :

1^o - Pour le rang des tourbes et des lignites

Les méthodes optiques en lumière transmise, et en particulier pour l'estimation du degré d'évolution de ces substances :

- (a) en lumière naturelle, la mesure (photométrie) du coefficient d'absorption
- (b) en lumière U.V., la mesure du degré de fluorescence.

2^o - Pour le rang des graphitoïdes

Les méthodes diffractométriques sur M.O. complètement débarrassée de toute impureté minérale, et éventuellement sur des extraits moins purs, la mesure du rapport H/C par voie chimique. (Cette méthode doit être mise en oeuvre incessamment.)

3^{ème} PARTIE

SIGNIFICATION DE LA M.O. DES ROCHES EN GEOLOGIE

A / GEOLOGIE GENERALE

L'évolution des charbons par perte en éléments volatils au cours de leur enfouissement (relation de Hilt 1873) aurait pour facteur dominant, sinon essentiel, une élévation de la température. Cette constatation résulte tant de la connaissance des séries houillères que des études expérimentales faites sur les lignites. Ainsi la pression ralentirait le processus de houillification; si parfois, sur le terrain, ce facteur paraît avoir joué un rôle positif c'est, semble-t-il, indirectement, en raison d'une élévation concomitante de la température (par compression, friction, échanges thermiques facilités par des dislocations tectoniques ..)

(a) Processus de houillification et estimation des paléotempératures -

L'évaluation des températures de houillification en valeur absolue est un problème délicat qui ne peut être considéré comme résolu. Les valeurs que nous donnons dans la colonne 9 du Tableau hors-texte constituent une indication qui peut être retenue, toutefois, dans une première phase de travail : dans les séries sédimentaires, la lignification aurait été en voie d'achèvement à 100°C, la houillification proprement dite à 200°C. ; le rang des anthracites aurait été dépassé à une température de 300°C.

En valeur relative, les paléotempératures maximales d'une formation sédimentaire peuvent être déterminées avec une certaine finesse (zones plus ou moins "chaudes" de cette formation) à partir des formes même dispersées de la M.O. -

(b) Carbonification de la M.O. des roches et appréciation du métamorphisme précoce des séries sédimentaires

Sans préjuger de la nature de ses facteurs essentiels, la carbonification est un processus typique d'évolution diagénétique et métamorphique,

au même titre que celui qui intéresse tout constituant minéral des roches sédimentaires.

La M.O. des roches, de plus, possède la particularité de présenter des modifications profondes et aisément mesurables à des stades très précoce du métamorphisme des roches, l'épimétamorphisme coïncidant sensiblement avec la fin du rang des anthracites.

Il est permis d'entrevoir là un domaine d'application très vaste des méthodes d'étude de la M.O. des roches. Nous l'abordons au Département LABORATOIRES dans des contextes franchement métamorphisés (zone Epi inclue) de façon à pouvoir établir le taux de graphitation de la M.O. sur des séquences minéralogiques caractéristiques.

B / SEDIMENTOLOGIE

Le problème de la caractérisation des environnements de dépôt se pose, en particulier, pour les échantillons de roche sédimentaire présentant une M.O. liée à des minéralisations sulfurées (voir liste en Annexe, page d).

D'importants travaux tant en paléobotanique (palyno-planctologie notamment) qu'en géochimie organique ont permis déjà de tirer parti de la M.O. des roches en vue de caractériser les milieux de dépôts; Il faut considérer les méthodes que nous avons présentées comme devant apporter des données analytiques complémentaires à ce type d'étude.

C / STRATIGRAPHIE

Dans ce domaine également nos méthodes viennent en complément de celles qui sont pratiquées en paléobotanique. Ainsi avons-nous commencé déjà un travail de recherche, en liaison avec le Service Palynologie, pour tenter de tirer parti des éléments figurés carbonés que nous observons en section polie (voir cliché n° 3 planche 10).

Par ailleurs et de façon plus immédiate, une étude du Silurien des Pyrénées, riche en M.O., nous a convaincus de l'intérêt d'un examen systématique des formes organisées ou non de la M.O. pour un repérage stratigraphique de ces échantillons, selon la méthode des microfaciès : relevé et échantillonnage d'une coupe-type sur le terrain, puis examen des échantillons en lumière transmise et réfléchie, sur lame mince polie. (voir compte rendu n° 3, en Annexe page f).

D / METALLOGENIE

De nombreux échantillons parmi ceux que nous avons examinés témoignent d'une association intime de la M.O. avec des minéralisations sulfurées (voir clichés 2 et 4 Pl. 9 et clichés 2 et 4 Pl. 10).

De telles observations ont été faites également dans des fluorines du Morvan (C. LEVY 1956).

La M.O. ainsi associée à des minéralisations présente des particularités non seulement quant à sa qualité :

- type "bitumineux" témoignant de phénomène de migration
- type "charbonneux" reflétant certaines conditions de dépôt, mais également quant à son degré d'évolution.

Ainsi la M.O. s'est révélée être d'un degré de carbonification plus élevé dans des échantillons associés à des concentrations de minéralisations sulfurées par rapport à la M.O. des échantillons de même âge prélevés en dehors de ces concentrations.

Cette différence relative du degré de la M.O. a été observée :

- (a) dans des formations d'âge varié : Trias du Bassin de Rodez, Permien du Bassin de St-Affrique, Silurien des Pyrénées.
- (b) Pour des M.O. se trouvant à des rangs différents :
 - rang des lignites pour le Trias du Bassin de Rodez
 - rang des houilles pour le Permien de St-Affrique
 - rang des anthracites - graphitoïdes pour le Silurien des Pyrénées.

c) Pour des échantillons prélevés dans et hors du contexte minéralisé, à des distances allant d'une centaine de mètres à plusieurs dizaines de kilomètres.

Ces observations doivent être rapprochées de celles, déjà classiques, qui ont été faites à propos de gîtes de type "skarn". Quand ces gîtes intéressent des formations de calcaire noir, la zone minéralisée, plus "chaude", est souvent prise dans une enveloppe de terrains complètement blanchis par destruction de la M. O. de type pyrobitumineux qu'ils contenaient.

o
o o

Rechercher la signification de cette association d'une M.O. relativement plus évoluée avec des minéralisations sulfurées intéresser divers plans :

1° - RECHERCHE D'UN GUIDE DE PROSPECTION :

Par sa qualité (type "pyrobitumineux", A. GERMANOV - 1963) et sous l'effet d'un accroissement de la température, la M. O. de certaines formations calcaires est détruite en quasi totalité (% carbone fixe pratiquement nul). Dans ce cas un repérage des gîtes de type "skarn" est possible sur le terrain.

Toute autre variété de M.O. peut évoluer sous l'effet d'une perturbation thermique, mais s'il s'agit d'une M.O. de type "charbon ligno-cellulosique", à teneur en carbone fixe élevée, les modifications qu'elle a subies peuvent ne pas être sensibles sur le terrain, et cela surtout si elle existe en faible quantité. Il appartient aux méthodes que nous avons présentées de faire apparaître ces modifications.

2° - RECHERCHE D'HYPOTHESES SUR LA GENÈSE DE MINERALISATIONS SULFUREES :

La M.O. joue un rôle dans la genèse de certains sulfures au cours des premières phases de la formation des sédiments ainsi que d'importants travaux de Géochimie organique l'ont établi déjà :

- fixation sélective transport et concentrations de ions métalliques biophiles, tels que : U, Ge, V, Mo, Cu, Mn, etc...
- source de soufre
- source d'énergie pour l'activité bactérienne
- propriétés réductrices.

Cependant, on peut raisonnablement se demander si la M.O. ne continue pas à jouer un rôle génétique au cours des périodes géologiques, lors de l'enfouissement des terrains, et surtout, à la faveur de perturbations locales du gradient géothermique liées à une orogénèse.

Durant ces périodes des masses considérables de matières volatiles ont été libérées. Dans quelle mesure sont-elles intervenues dans la mise en place de certaines accumulations de minerais sulfurés ou non, voir de substances utiles ?

La réponse à cette question, pour des formes dispersées de minéralisation (indices), peut se dégager de l'étude de la M.O. d'échantillonnages variés comportant des prélèvements en nombre limité. Pour des formes concentrées (gîtes), il semble qu'il faille envisager conjointement :

- a) L'analyse systématique d'un nombre suffisant d'échantillons pour tracer des courbes significatives d'isoteneur en M.O. et d'isoévolution de cette M. O. à l'échelle du périmètre retenu (voir planche en introduction).

b) l'étude des caractéristiques géométriques (surface, porosité..) et des propriétés physiques (pouvoir sorptif, perméabilité...) du champ fissural * des formations intéressées ; des mécanismes de migration sont nécessairement à envisager, à différentes échelles, pour concevoir la mise en place de certaines accumulations. (A. GERMANOV 1963).

* Se reporter pour plus de précisions au rapport " Méthodes d'étude du champ microfissural des minéraux et des roches, et leurs applications en Géologie " . par J. GONI - J.P. RAGOT - A. SIMA - à paraître au Bulletin du B. R. G. M. -

CONCLUSIONS

Dans ce rapport, nous avons voulu attirer l'attention sur l'intérêt d'une étude qualitative (diagnose) et quantitative (mesure du degré d'évolution) de la matière organique dispersée dans les roches pour la compréhension de certains phénomènes géologiques.

Nous avons voulu également souligner le fait que ce type d'étude ne relève pas uniquement des méthodes analytiques chimiques mises en oeuvre dans certains laboratoires spécialisés de l'industrie des bitumes et des charbons.

Au contraire, nos premiers résultats font apparaître que la méthodologie classique propre à l'étude de la fraction minérale des roches peut s'appliquer utilement - dans le contexte de la Géologie Appliquée prise dans son sens large - à la fraction organique de celles-ci.

o o

LISTE des ECHANTILLONS DONT la M.O. A ETE ETUDIEE
au DEPARTEMENT LABORATOIRES

Ces échantillons, qui nous ont permis de mettre à l'épreuve notre méthodologie, constituent à présent notre collection de référence. Un large éventail de "cas géologiques" a déjà été couvert, et nous pouvons envisager l'étude d'échantillonnages nouveaux avec, déjà, une certaine expérience.

Il n'est pas possible de rendre compte de la totalité de nos observations dans le cadre de cette annexe. Nous rapportons seulement les P.R. mesurés qui permettent de situer immédiatement le degré d'évolution de la M.O. de l'échantillon en se reportant à la colonne 6 du Tableau hors texte.

En fin d'Annexe, nous avons relevé également les comptes-rendus dont certains échantillons ont fait l'objet.

A / FORMES CONCENTRÉES (Charbons - Bitumes solides)

GROUPE	N° de Référence	Echantillon remis par	Désignation	P.R. mesurés en %
1 cf photo 1 Pl.9	1 à 20	MM. FEYS GREBER SAINFELD	Charbon et bitumes solides	0,6 à 4,5
7	40 à 50	M. ALPERN	Echelle de houillification	0,4 à 4,4
22	90	M. VIALLEFOND	Bois fossile à minéralisation sulfuree	1,95
26	108	M. FEYS	Charbon ayant subi un feu de mine	3,8
27	109-110	M. MAILLARD (CARBONE-LORRAINE)	Graphite S.S. et Coke	—
28	111	M. JACOB	Graphite de Madagascar	—

B / FORMES DISPERSEES

1° - Echantillons plus ou moins touchés par un métamorphisme local ou régional

Groupe	N° de réf.	Echantillon remis par	Désignation	P.R. mesurés en %
2	21 à 27 + 60	M. DESTOMBES	Ordovicien et Silurien des Pyrénées	4 à 6 anisotropie
5	33 à 35	M. AUTRAN	Schistes à Andalousite, marbres bitumineux	anisotropie
6	36 à 39 70 à 72	M. CAUTRU	Schistes briovériens de Normandie (Massif d'Athis)	—
11	59	MM. VITALI - ALSAC	Schistes "graphiteux" de Côte d'Ivoire	3,5
13 cf Ph.3 Pl 10	62 à 69	MM. DESTOMBES CHATEAUNEUF	Ordovicien, Silurien et Dévonien des Pyrénées.	4 à 5
15	74 à 76	M. FEYS	Schistes "charbonneux" du Tonkin	3,7
19 cf Ph.1/2 Pl 10	80 à 82 114 à 116	MM. CHAMBOLLE CHAPUT	Silurien à minéralisations sulfurée des Pyrénées	> 5 anisotropie
24	94 à 105	M. AUTRAN	Cambro-Ordovicien des Pyrénées	—
25	106 - 107	M. PARENT	Schistes Graphiteux de Madagascar	—
30	117	M. GEORGEL	Schistes Carbonés de Côte d'Ivoire	—

2° -

Echantillons dont la M.O. est associée ou non à des minéralisations sulfurées
(Etude comparative)

Groupe	N° de réf.	Echantillon remis par	Désignation	P.R. mesurés
2	25	M. DESTOMBES	Silurien des Pyrénées	5 anisotropie
3 cf. Ph.2 Pl. 9	28 et 29	M. VIALLEFOND	Permien du bassin de St Affrique	1,3 à 1,6
4	30 à 32	M. SERRE	Trias (S.L.) du bassin de Rodez	0,4
8/ 18 cf. Ph.3/4 Pl.9 et Ph.4 Pl 10	51 à 54 et 79	M. PICOT	M.O. au sein de minéralisation de provenances diverses	4 à 5
19 cf. Ph.1/2 Pl. 10	80 à 82 114 à 116	M. CHAMBOLE et CHAPUT	Silurien de la région de St-Beat (Pyrénées)	5 anisotropie
21	88 - 89	MM. BONNICI - PICOT	Minéralisations du Lagos	5 anisotropie
22	90	M. VIALLEFOND	Bois fossile	1,95
23	91 à 93	MM. TROLY - PICOT	Série vulcano-sédimentaire du Chili	1,6 à 1,7
29	112 - 113	M. SERRE	Skarn dans le Dévonien inférieur des Appalaches du Québec	1,05

3° - Echantillons dont la M.O. est associée à diverses minéralisations

Groupe	N° de réf.	Echantillon remis par	Désignation	P.R. mesurés
9	55	M. AGARD	Schistes bitumineux vanadifères	0,44
14	72 et 73	M. BOULADON	Schistes manganifères du Gabon	> 2
17	78	MM. GONI - PICOT	Latérite nickelifère de Nouvelle Calédonie	—

4° - Divers -

Groupe	N° de réf.	Echantillon remis par	Désignation	P.R. mesurés
10	56 à 58	MM. GUILLEMIN - GONI	Sépiolite colorée en rouge par des pigments organiques	—
12	61	M. GONI	Fragments de poumons contenant des particules charbonneuses	—
16	77	M. CAVELIER	Calcaire bitumineux	—
20	83 à 85	M. PARENT	Grès bitumineux touchés par une venue éruptive	> 0,5

LISTE DES COMPTE-RENDUS INTERESSANT L'ETUDE DE CERTAINS ECHANTILLONNAGES

-
- 1 - GROUPE 9 (Page d) n° 55
(a) "Etude d'un schiste bitumineux vanadifère"
J.P. RAGOT - M 3234 18/07/67
- (b) Localisation du V dans un schiste bitumineux
"Résultats d'analyse à la microsonde électronique"
G. REMOND - M 3234 28/08/67
- 2 - GROUPE 23 (Page c) n° 91 à 93
"Etude d'échantillons minéralisés du Chili"
P. PICOT et J.P. RAGOT - M 3441/91 8/67
- 3 - GROUPE 2 (Page b) n° 25
GROUPE 13 (Page) n° 65 et
GROUPE 19 (Page c) n° 80 à 82, 114 à 116.
"Etude de la matière organique du Silurien à minéralisations sulfurées des Pyrénées".
J.P. RAGOT - D.S.G.L. MARS 1968
- 4 - GROUPE 30 (Page b) n°117 et
GROUPE 11 (Page b) n° 59
"Etude de la M.O. de schistes carbonés
de Côte d'Ivoire".
J.P. RAGOT - M 0478/648 MARS 1968
- 5 - GROUPE 10 (Page d) n° 56 à 58
"Coloration rouge d'une sépiolite oligocène,
la Quincite, par des pigments organiques"
par
M. LOUIS, C. GUILLEMIN, J. GONI et J.P. RAGOT
Communication prévue au 4ème Congrès International
de Géochimie Organique - Amsterdam Septembre 1968.
-

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

ABRAHAM H. - 1962

Asphalts and allied substances - VAN NOSTRAND C°, PRINCETON

ALPERN B. - 1959

Contribution à l'étude palynologique et pétrographique
des charbons. THESE FAC. des SC. de PARIS.

ALPERN B. - 1964

Un exemple intéressant de houillification dans le Bassin Lorrain
Adv. in Org. Geochem.
PERGAMON PRESS. LONDON

ALPERN B. - 1965

Application de la microsonde électronique à l'étude des Cendres
volantes et des minéraux des charbons.
C.E.R. CHAR - Doc. int. N°1562

ALPERN B. - 1967

Quelques applications géologiques du pouvoir réflecteur
des charbons. COLLOQUE de FREIBERG.

AMMOSOV I. - 1962

Stages in the (transformation) of sedimentary rocks and paragenetic
relations of combustible minerals.
INT. GEOL. REV. VOL. 4 n°10
PART 1.

ANDREEV P.F. - 1965

Propriétés et structure de la M.O. dispersée dans les roches
sédimentaires. GEOL. SBORNIK GOST. I/83
TRAD. IFP - N° 67

ANONYME - 1966

Guide pour l'analyse des bitumes et de la substance organique
dispersée dans les roches. LENINGRAD -

BARRABE L. et FEYS R. - 1965

Géologie du charbon et des bassins houillers

MASSON -

BUDNIKOV V. - 1962

The ratio of pyrite iron to organic carbon in rocks
as an indication of sedimentation conditions.

GEOL. i GEOFIZ n° 6 - 96.100

CHANDRA D.

Use of reflectance in evaluating temperature of carbonized
or thermally metamorphosed coals.

FUEL G.B. t. 44 n° 3 -

CHANTRET F.

Identification de la pyrite et de la matière organique par A.T.D.
associée à l'analyse de gaz en continu.

C.R. ACAD. SC. PARIS t. 264
SERIE D. 1825

ELLERN S.S. - 1962

Association of hydrothermal dolomite with bitumen and sulfides
DOKL. AKAD. NAUK. S.S.S.R.
t. 145 - n° 5

GERMANOV A.I. - 1962

Role of organic substances in the formation of hydrothermal
sulfide deposits. T.I.G. REV. t 5 - 1963.

GERMANOV A.I. - 1965

Signification géochimique de la matière organique dans
le processus hydrothermal. GEOKHIMIJA S.S.S.R. n° 7

GUTJAHR M. - 1963

Carbonization measurements of pollen grains and spores,
and their application. GROEN J.J. et ZOON L. - HOUSTON

HANAN J.K.

Zoelithe facies and regional rank of bituminous coals.

GEOL. MAG. - VOL 103 - n° 5

JEDWAB J. - 1966

Similitudes microscopiques entre certaines tucholites et les matières carbonées humiques.

BULL. SOC. FR. MIN.
et CRIST. LXXXIX -

KIRCHHEIMER F. - 1934

Les spores fossiles et les grains de pollen considérés comme thermomètre de la carbonisation.

BRENNSTOFF - CHEMIE Vol. 15

KRAUSKORF K. - 1955

Sedimentary deposits of rare metals

ECON. GEOLOG. FIFTIETH
ANNIVERSARY VOLUME part 1.

KREULEN D. - 1966

Considérations sur la composition, la genèse et la classification de la tourbe, du lignite et de la houille.

GEOL. IN MIJNBOUW NEDERLAND
t. 45 - n° 7

KREVELEN (VAN ..) - 1961

Coal - ELSEVIER

KUYL O.S. - 1958

Coalification in relation to depth of burial and geometric gradient.
4^e Cong. AVANCE et STRAT. GEOL.
CARBONIF. NEDERL. t 2

LEVY C. - 1957

Proposition de zones de prospection de fluorine dans le Morvan
DOC. B. R. G. M. - A 1149.

LEVY C. - 1966

Contribution à la minéralogie des sulfures de cuivre du Type
 $Cu_3 S_4$.
THESE FAC. des SC. de PARIS
sous presse au Bull. du B.R.G.M.

LOUIS M. - 1967

Cours de géochimie du pétrole Ed. TECHNIP - PARIS

MANSKAJA - S. 1964

Géochimie de la matière organique
IZADAT - " NAUKA " - MOSCOU.

MOLCHANOV I. - 1961

Le métamorphisme précoce des roches sédimentaires et
son importance pour les recherches de combustibles fossiles.
RAZ i OKH. NEDR. Mai

NOËL R. - 1966

Sur deux paramètres du rang des charbons : Matières volatiles
et pouvoir réflecteur.

AN. SOC. GEOL. de BELGIQUE
t. 89 - Bull. 4

SCHMITZ H. - 1964

Die organische Substanz in Sedimenten und ihre Untersuchung
mit der D.T.A.

FORT. MIN. STOCK. t 41 - n°2

TEICHEMULLER M. - 1958

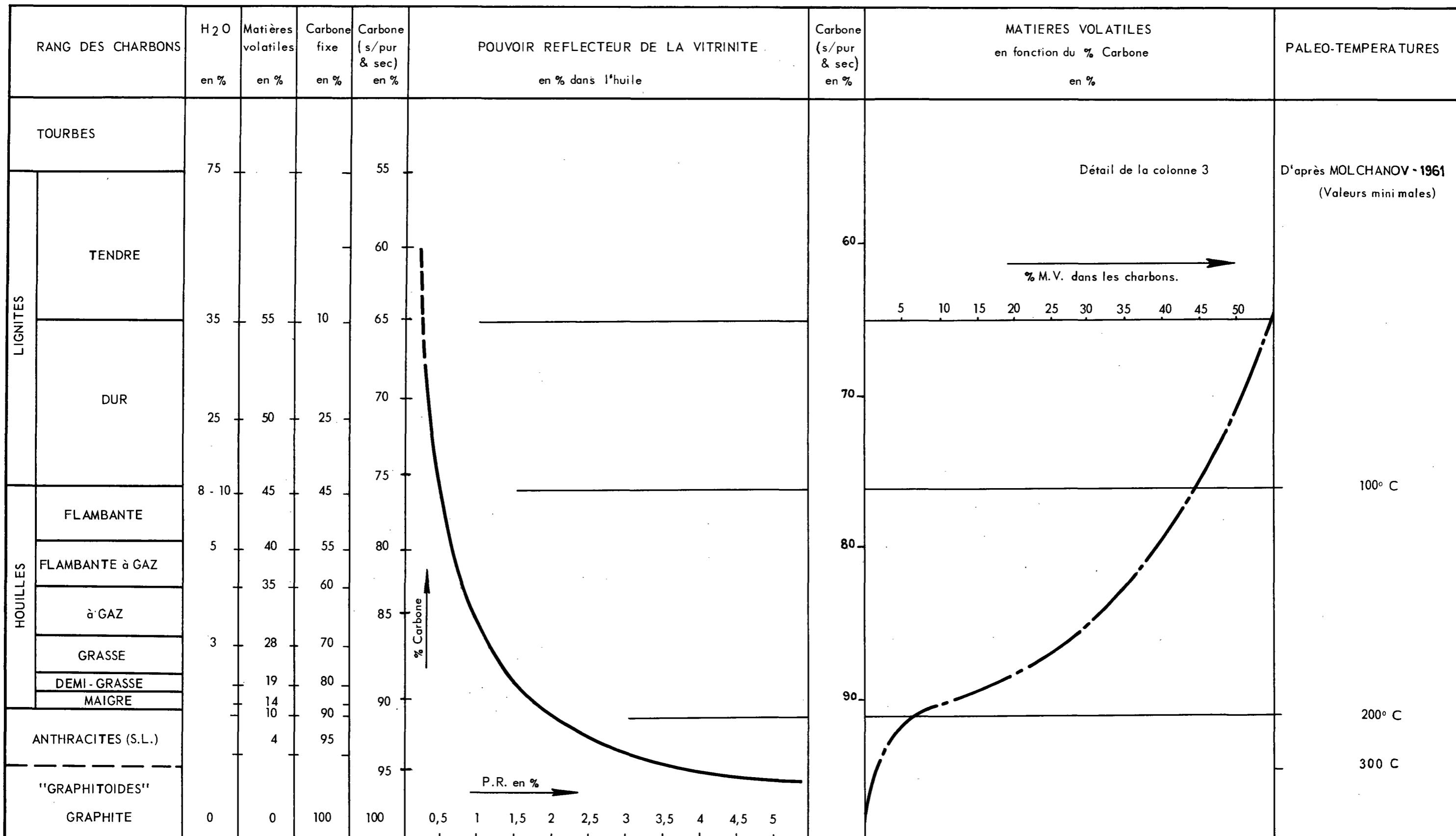
Inkohlungsuntersuchungen und ihre Nutzanwendung.
GEOL. EN MIJNBOUW n°2 FEVRIER

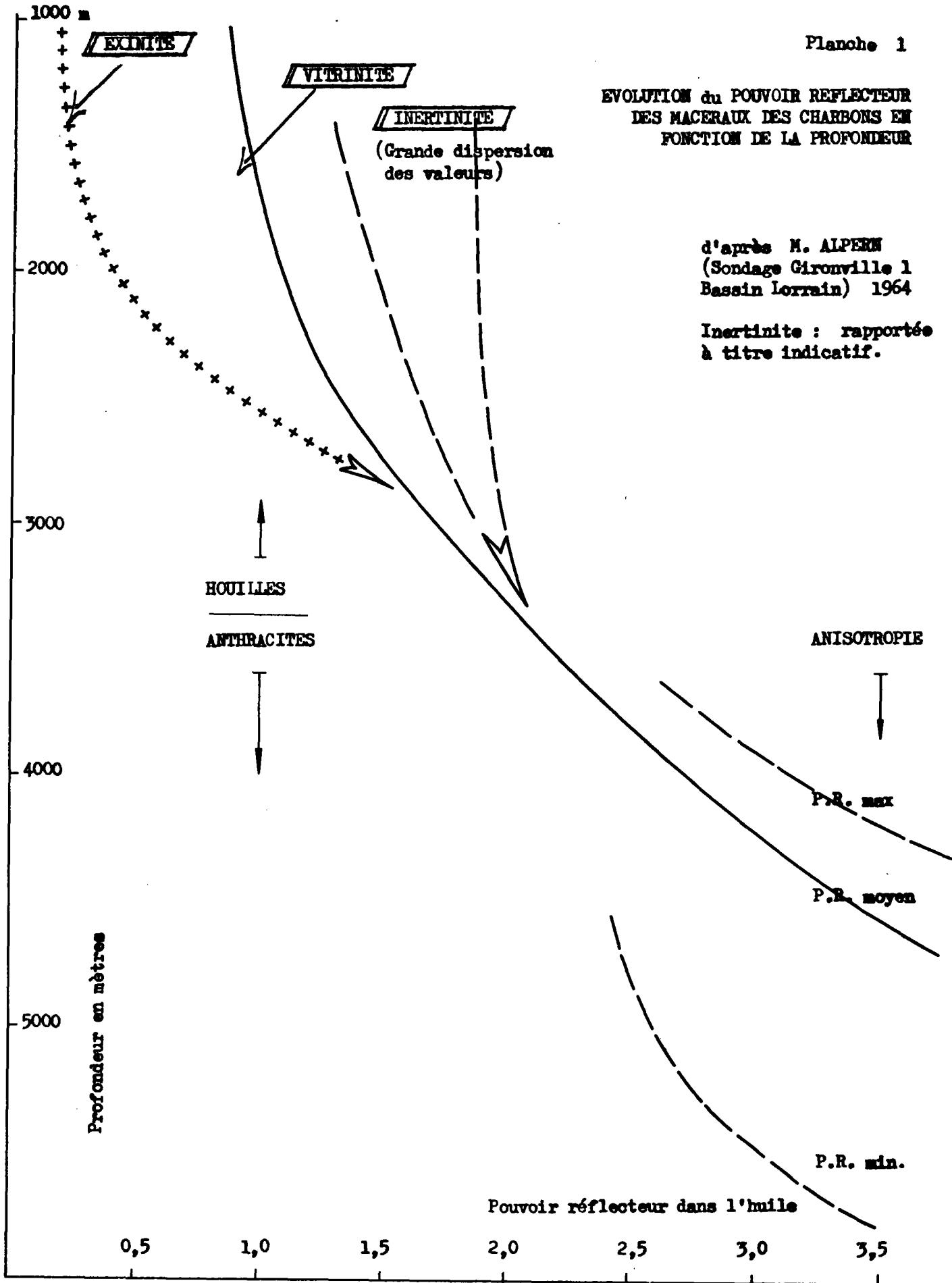
TOMKEIEFF - 1954

Coals and bitumens. Nomenclature and classification.
PERGAMON PRESS Ltd.
LONDRES 1954.

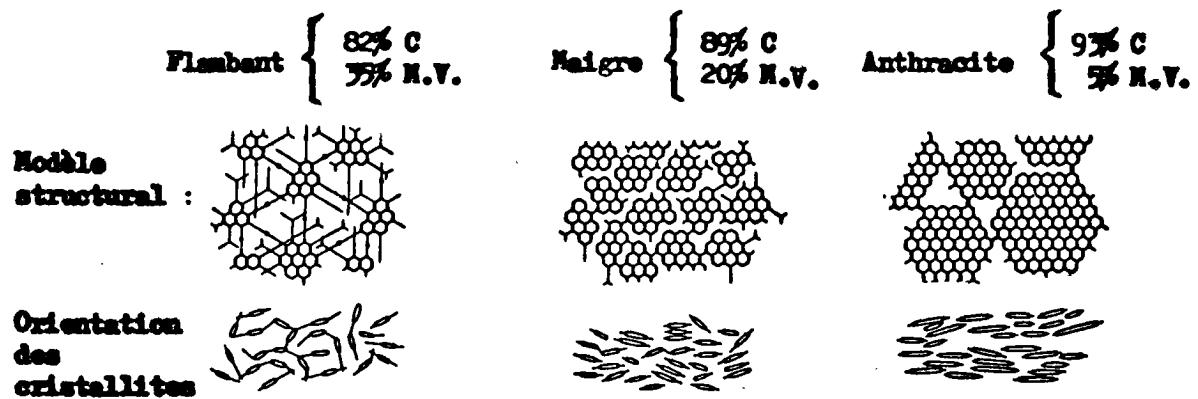
o
o o

RELATION ENTRE LE DEGRÉ DE CARBONIFICATION, OU RANG, DES CHARBONS, LEUR COMPOSITION CHIMIQUE ET LE POUVOIR RÉFLÉCTEUR DE LA VITRINITE



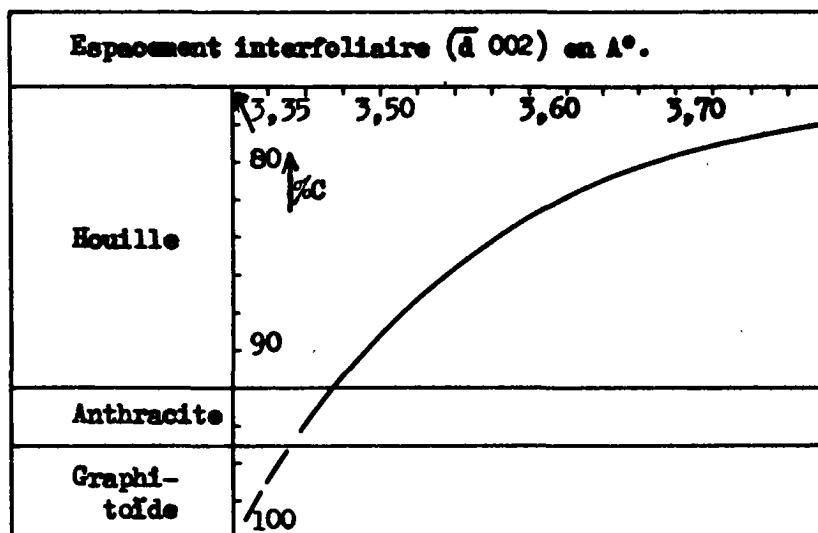


EVOLUTION DES CHARBONS VERS LA STRUCTURE DU GRAPHITE (Graphitation)



D'après V. KREULEM 1966.

Fig. 1 - Développement de la structure polyaromatique (propre au graphite) par perte de groupes fonctionnels et orientation des cristallites.



D'après V. KREULEM 1965.

Fig. 2 - Réduction de l'espacement interfoliaire en fonction du degré de carbonification.

EVOLUTION DE QUELQUES PROPRIETES PHYSIQUES DES CHARBONS
EN FONCTION DE LEUR RANG (ou degré de Carbonification
exprimé en % C, en ordonnées.)

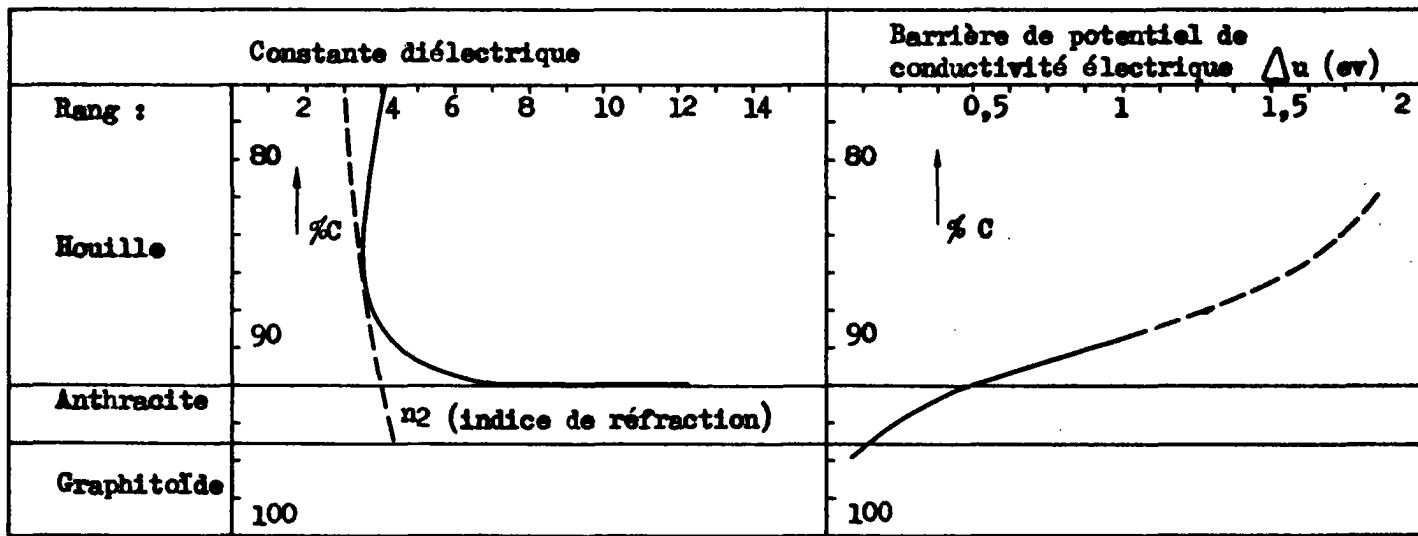


fig. 1

fig. 2

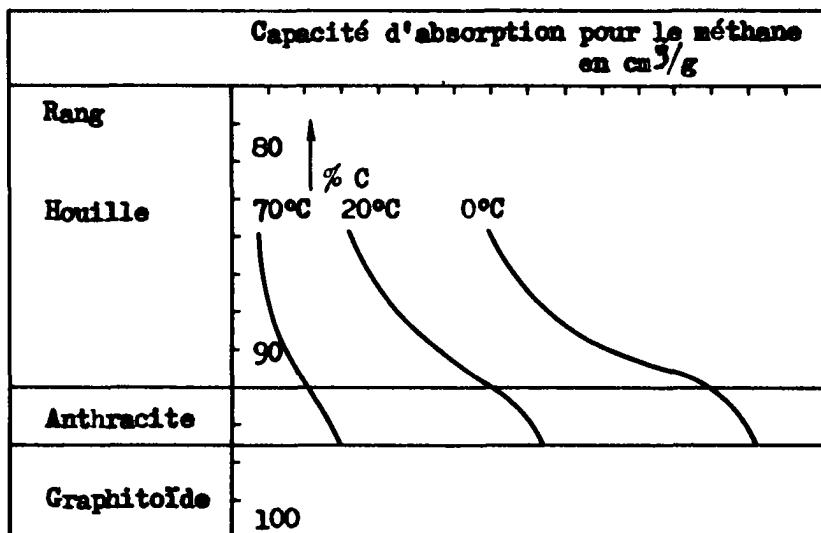
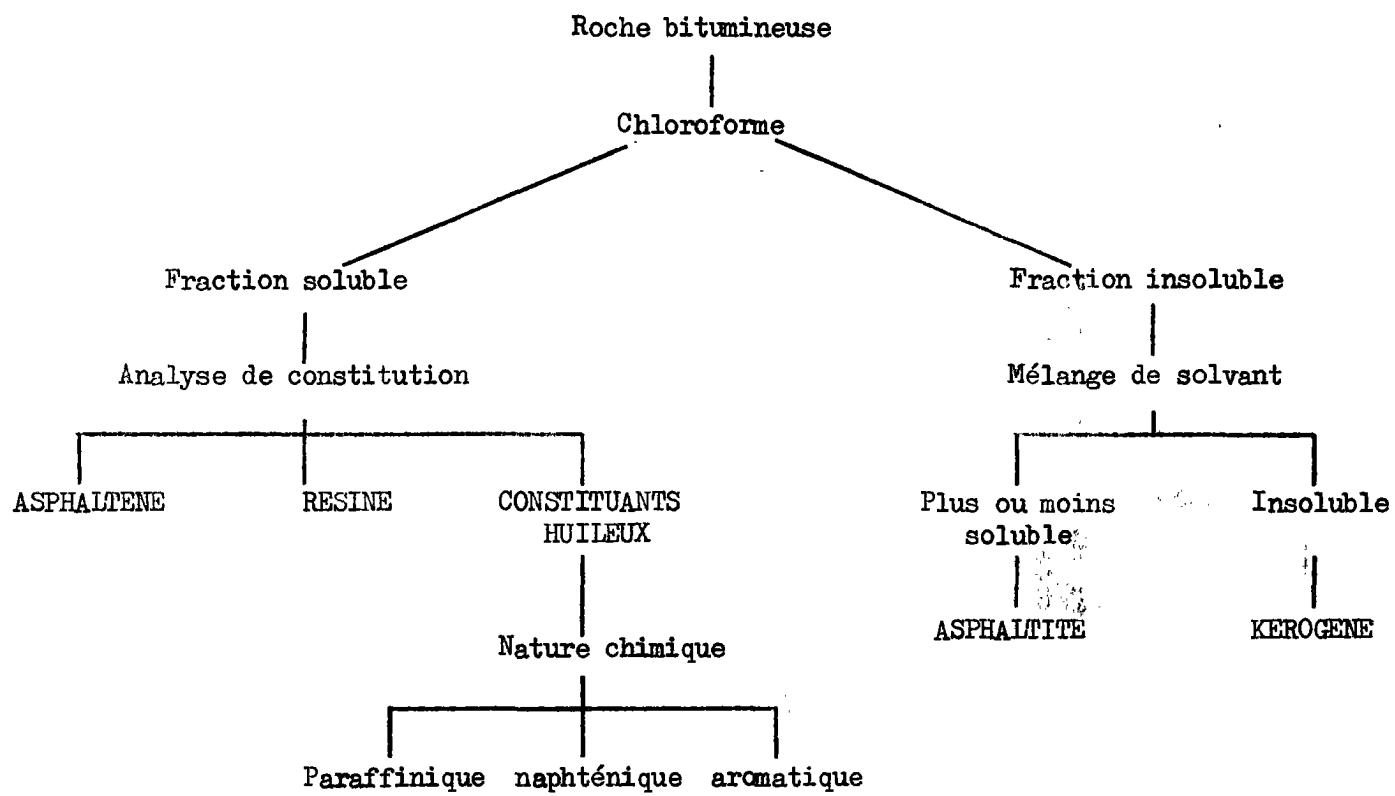


fig. 3

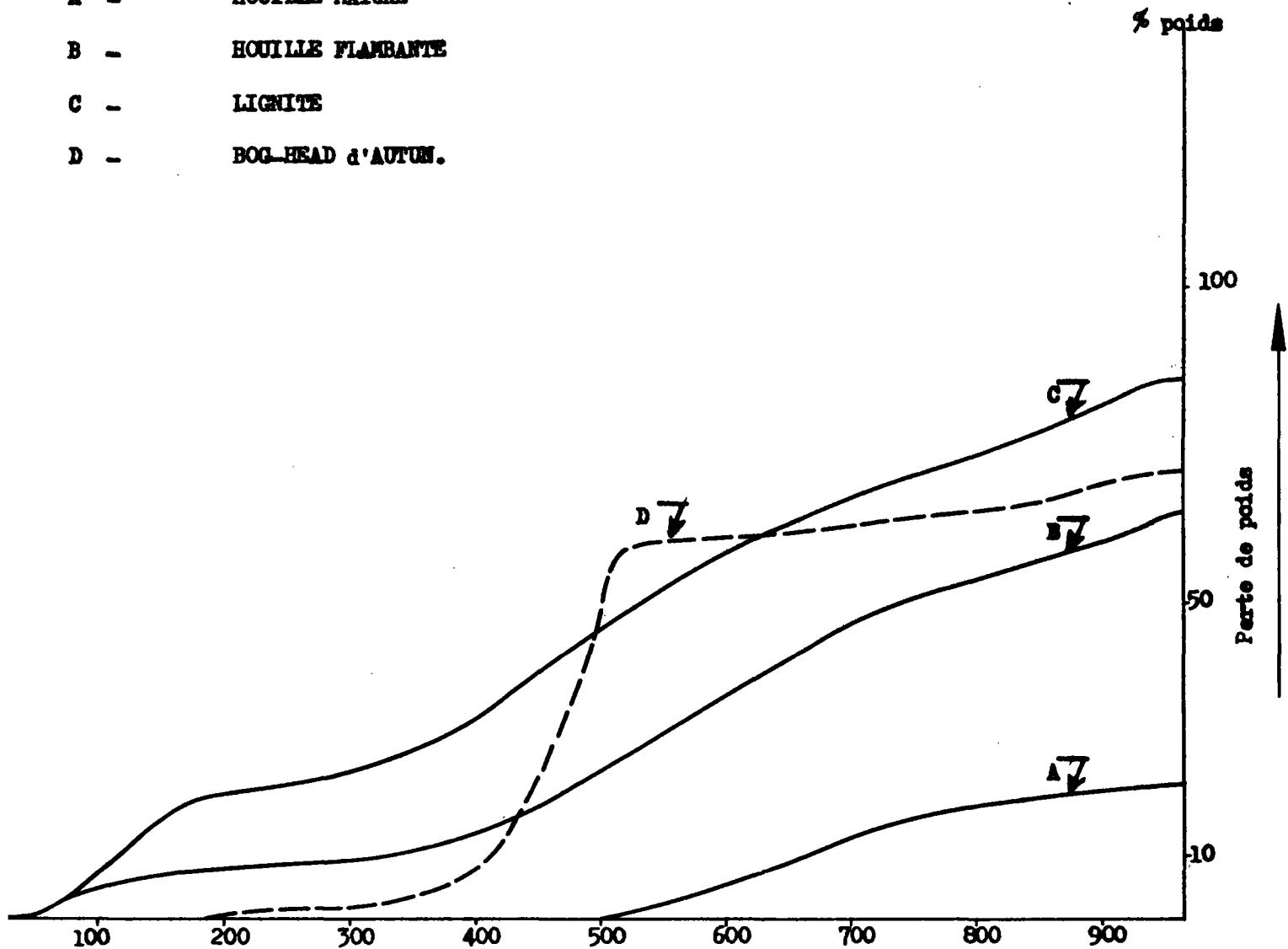
ORGANIGRAMME DE TRAITEMENT D'ECHANTILLONS BITUMINEUX UTILISE EN GEOCHIMIE DU PETROLE

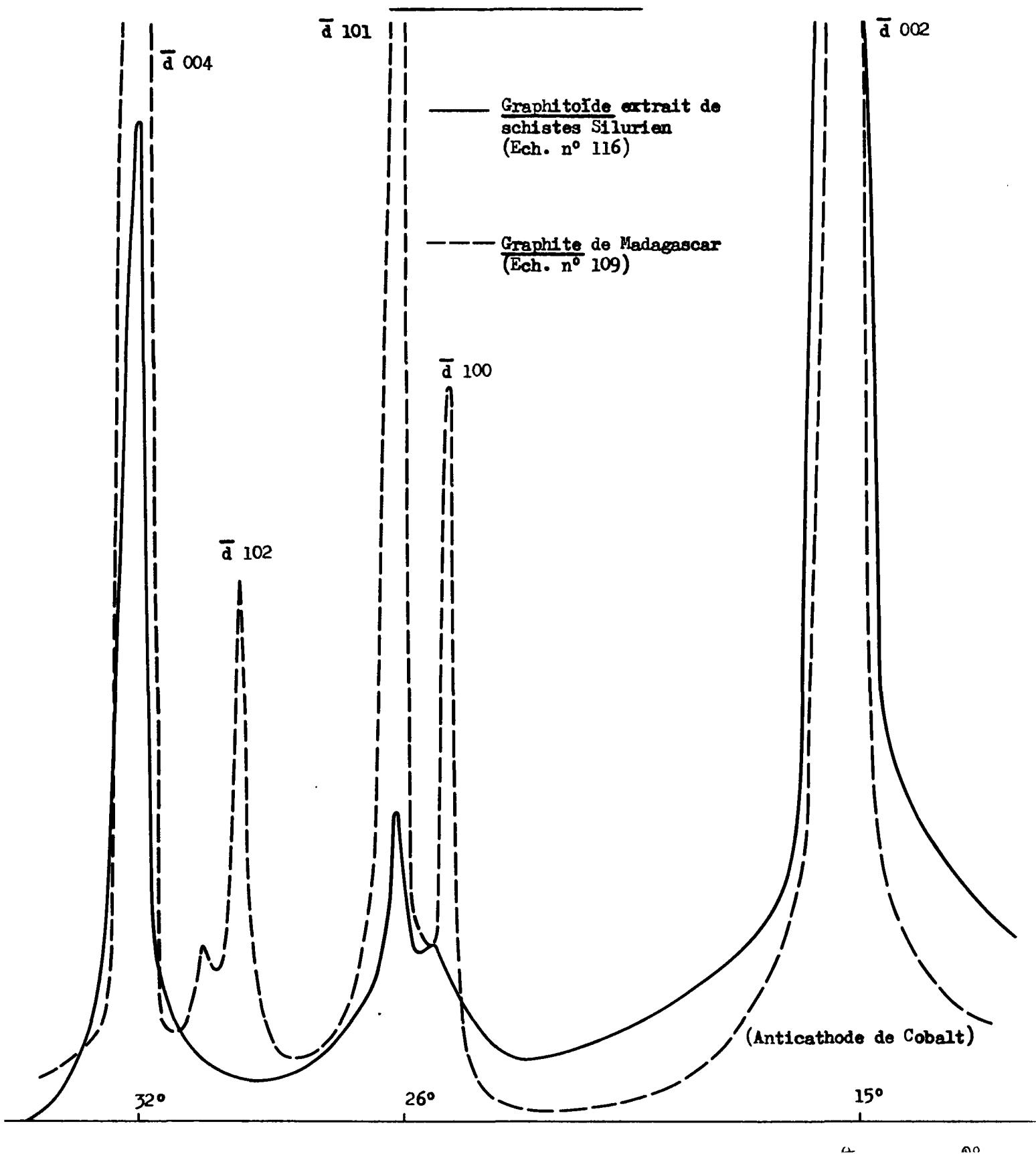


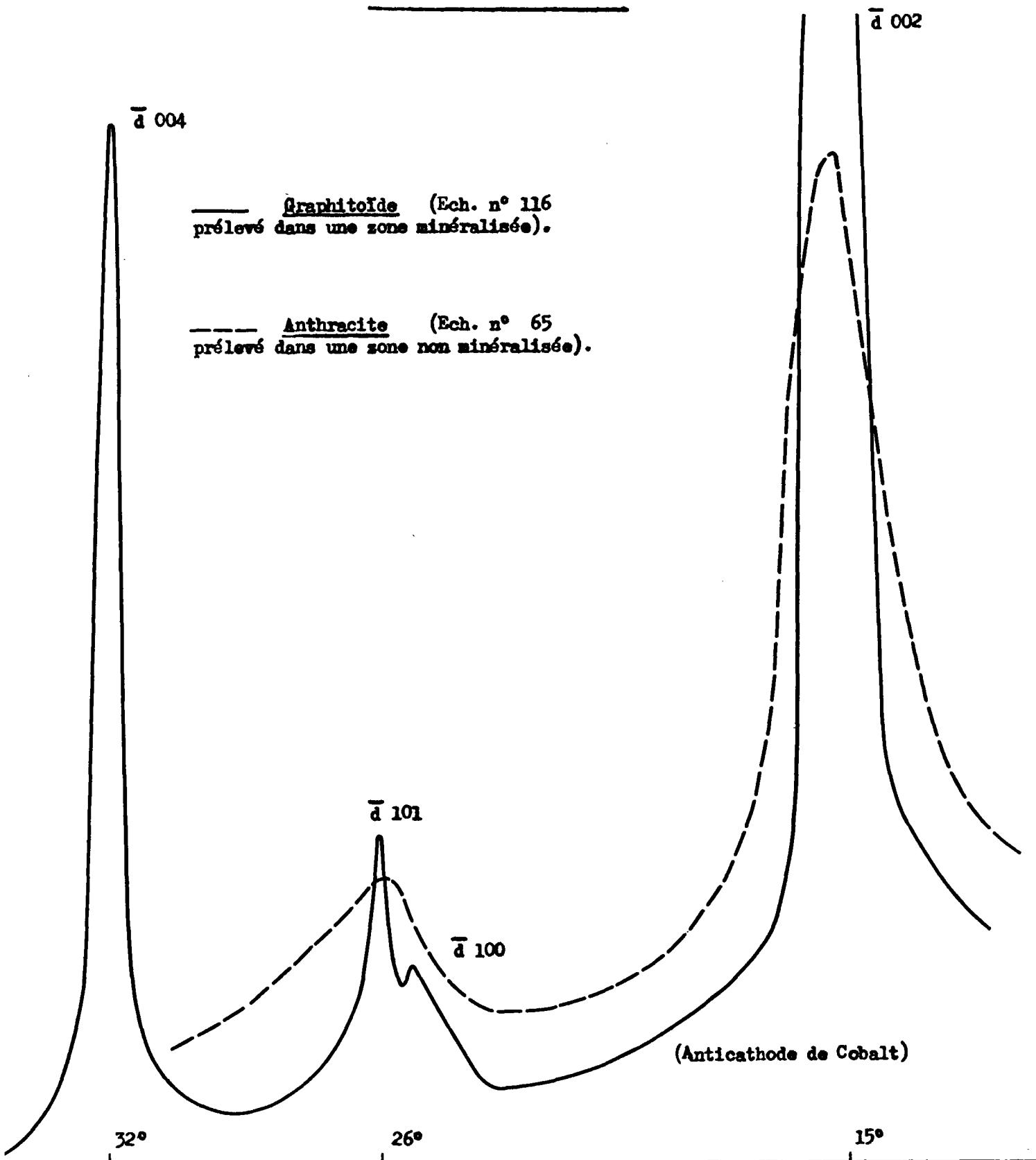
D'après M. LOUIS 1956.

ANALYSE THERMO-PONDERALE
DE DIVERSES SUBSTANCES ORGANIQUES FOSSILES

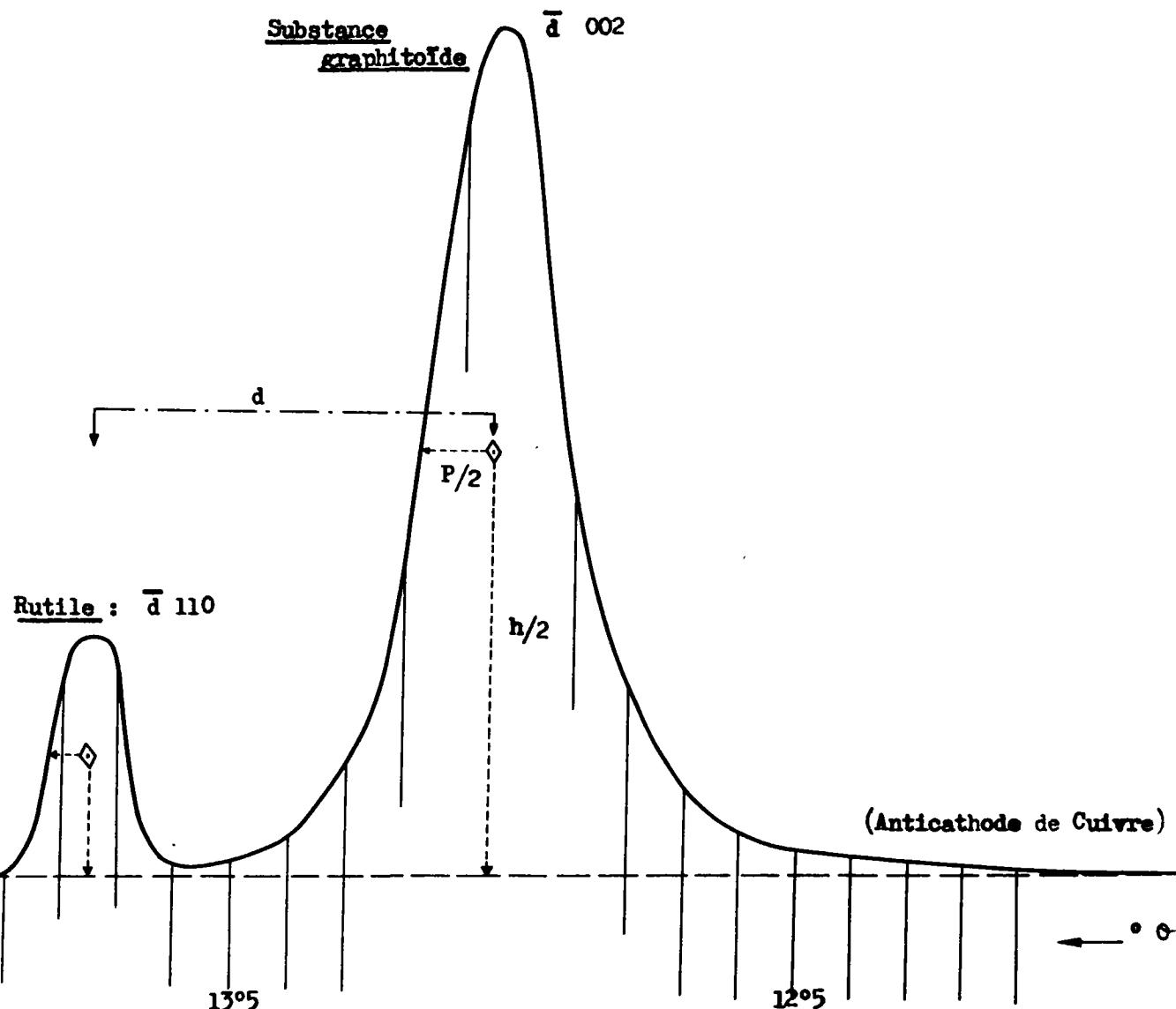
- A - HOUILLE MAICRE
B - HOUILLE FLAMBANTE
C - LIGNITE
D - BOG-HEAD d'AUTOM.



COURBES DIFFRACTOMETRIQUES PAR REFLECTION DES R.X. D'ECHANTILLONS
DE GRAPHITOIDE ET DE GRAPHITE -

COURBES DIFFRACTOMETRIQUES PAR REFLECTION DES R.X. D'ECHANTILLONS
DE GRAPHITOIDE ET D'ANTHRACITE .-

MESURE DU TAUX DE GRAPHITATION
DES SUBSTANCES GRAPHITOÏDES (Méthode de l'échelon interne)



En fonction de la distance d , une table de correspondance établie au Laboratoire de CARBONE LORRAINE fournit directement \bar{d} 002, soit le taux de graphitation de l'échantillon -

LEGENDE DE LA PLANCHE 9

- 1 - Echantillon n° 12 (ANNEXE Groupe 1, page b) Grossissement linéaire 120 X
Section de Charbon Lorrain (35% de M.V.)
Fond homogène = vitrinite PR moyen : 0,7%
Eléments figurés clairs = inertinite PR 1,9%
Eléments sombres = (en partie) exinite.

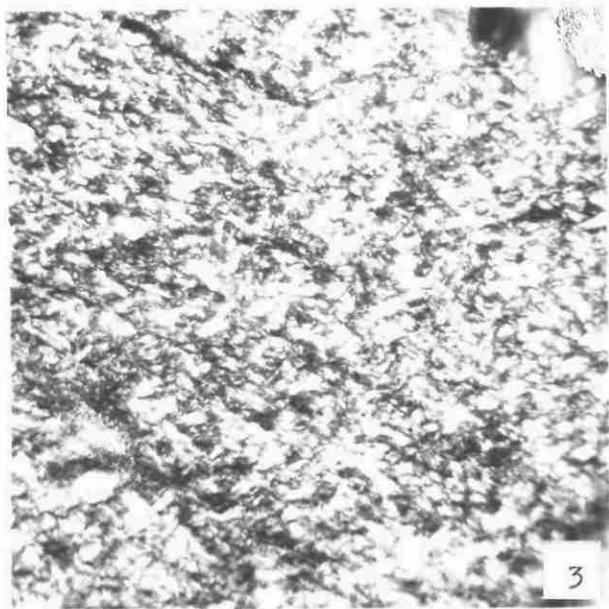
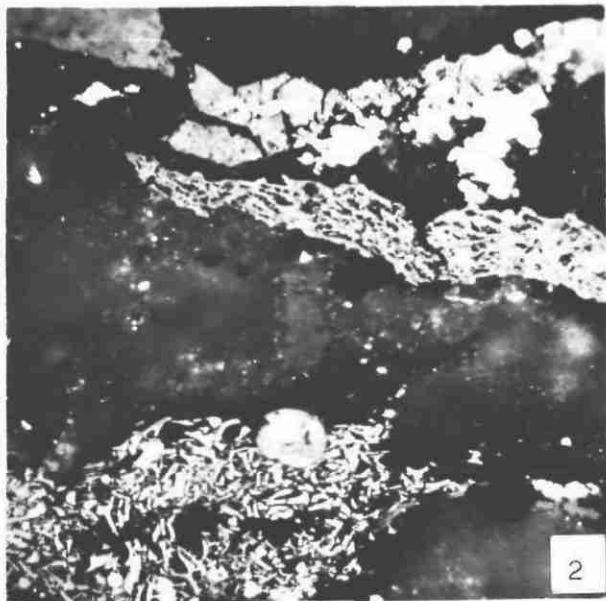
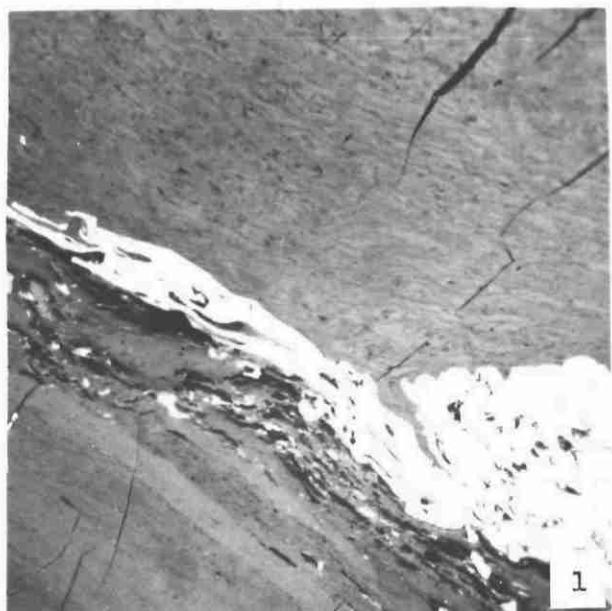
 - 2 - Echantillon n° 28 (ANNEXE Groupe 3, page d) G.L. 120 X
Section de Grès Permien à minéralisations sulfurées
en haut vitrinite, craquelée en raison de fissures de retrait,
associée à des sulfures - P.R. 1,6%
en dessous inertinite (ou fusinite) écrasée.

Noter le faible contraste des différents macéraux
en raison d'un degré de carbonification assez élevé -
- voir Planche 1 -

 - 3 - Echantillon n° 53 (ANNEXE Groupe 8, page d) G.L. 600 X
Graphitoïde très évolué, proche du graphite S.S.

Noter la forte anisotropie à fort grossissement.

 - 4 - Echantillon n° 52 (ANNEXE Groupe 8, page d) G.L. 220 X
Eléments de M.O. pris dans un sulfure P.R. 4,3%
-



LEGENDE DE LA PLANCHE 10

- 1 - Echantillon n° 82 (ANNEXE Groupe 19, page d) G.L. 220 X
M.O. sous un faciès caractéristique du Silurien des Pyrénées
Zone minéralisée de la région de St-Béat (Hautes Pyrénées)
Non perturbé - Rang des Graphitoïdes

 - 2 - Echantillon n° 115 (ANNEXE Groupe 19, page d) G.L. 220 X
Idem ci-dessus fortement microtectonisé -
Associé à un cristal de pyrite, à gauche du cliché.

 - 3 - Echantillon n° 65 (ANNEXE Groupe 13, page c) G.L. 300 X
Forme carbonée caractéristique du Silurien des Pyrénées
Zone non minéralisée de la région d'IHOLDY (Basses Pyrénées)
Rang des Anthracites P.R. 41 %

 - 4 - Echantillon n° 51 (ANNEXE Groupe 8, page d) G.L. 220 X
Éléments de M.O. de type bitumineux probable au sein d'un
schiste à minéralisations sulfurées P.R. 4,5%
-

