

THÈSES

présentées à la Faculté des Sciences de Lille
pour obtenir le grade de
DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

par

Emile MÉRIAUX

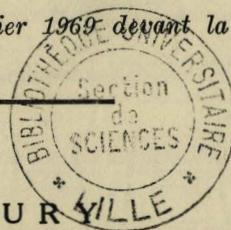
Maître-Assistant à la Faculté des Sciences de l'Université de Lille

PREMIERE THESE :

Contribution à l'étude pétrologique de Houilles du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais

SECONDE THESE : Proposition donnée par la Faculté

soutenues publiquement le 26 Février 1969 devant la Commission d'Examen



Messieurs les Professeurs :

Paul CORSIN, *Président.*

Gérard WATERLOT

Paul CELET

Charles DELATTRE, *Rapporteur.*

Monsieur Alexis BOUROZ, *Invité.*

} *Examineurs.*

UNIVERSITE DE LILLE

FACULTE DES SCIENCES

Doyen

: M. R. DEFRETIN, Professeur de Biologie et
Physiologie animales.

Assesseurs

: MM. J. HUEBEL, Professeur de Chimie minérale;
A. LEBRUN, Professeur de Radioélectricité.

Doyens honoraires

: MM. H. LEFEBVRE, M. PARREAU.

Professeurs honoraires : MM.

ARNOULT, BEGHIN, BROCHARD, CAU, CHAPPELON,
CHAUDRON, CORDONNIER, DEHEVELS, DEHORNE,
FLEURY, P. GERMAIN, KAMPE DE FERIEY,
KOURGANOFF, LAMOTTE, LELONG, Mme LELONG,
MM. MAZET, MICHEL, NORMANT, PARISELLE,
PASCAL, PAUTHENIER, ROIG, ROSEAU, ROUBINE,
ROUELLE, WIEMAN, ZAMANSKY.

Professeurs

: MM. BACCHUS, Astronomie et Calcul Numérique;
BEAUFILS, Catalyse;
BECART, Spectroscopie moléculaire;
BLOCH, Psychophysologie;
BONNEMAN, Chimie Analytique Industrielle;
BONTE, Géologie appliquée;
BOUGHON, Mathématiques;
BOUJISSET, Physiologie Générale;
BOURRIQUET, Physiologie Végétale;
CELET, Géologie Dynamique;
CONSTANT, Hyperfréquences et semi-conducteur;
CORVIN, Paléontologie Végétale et Palynologie;
DECUYPER, Mathématiques;
DEDECKER, Mathématiques;
DEHORS, Automatique et Calcul Analogique;
DELATTRE, Géologie Régionale;
DELEAU, Sédimentologie;
DELHAYE, Spectroscopie Raman;
DERCOURT, Géologie structurale;

MM. DESCOMBES, Mathématiques;
 DURCHON, Endocrinologie des Invertébrés;
 FOURET, Physique des Solides Rayons X;
 GABILLARD, Géopropagation et Résonances magné-
 tiques;
 GLACET, Chimie Organique I;
 GONTIER, Mécanique des Fluides;
 HEIM DE BALSAC, Ecologie des Vertébrés;
 HOCQUETTE, Botanique;
 LEBEGUE, Botanique;
 Mme LEBEGUE, Physique;
 Mle LENOBLE, Optique Atmosphérique;
 MM. LIEBAERT, Spectrométrie des Solides et Mesures
 Automatiques, Génie Electrique;
 LINDER, Cytogénétique;
 LUCQUIN, Chimie de la Combustion;
 MARION, Chimie;
 MARTINOT-LAGARDE, Mécanique des Fluides;
 Mle MARQUET, Mathématiques;
 MM. MENNESSIER, Géologie;
 MONTARIOL, Métallurgie;
 MONTREUIL, Physico-Chimie Biologique;
 MORIAMEZ, Physique des Ultra-Sons;
 MOUVIER, Chimie;
 PARREAU, Mathématiques;
 PEREZ, Mécanique des Cristaux;
 PHAM MAU QUAN, Mathématiques;
 POUZET, Calcul Numérique;
 PROUVOST, Minéralogie;
 SAVARD, Catalyse;
 SCHALLER, Entomologie;
 SCHILTZ, Spectroscopie Générale;
 Mme SCHWARTZ, Mathématiques;
 MM. TILLIEU, Physique Théorique;
 TRIDOT, Chimie Minérale Appliquée;
 VAILLANT, Mathématiques;
 VAZART, Botanique;
 VIVIER, Proximitologie et Microscopie;
 WATERLOT, Géologie Stratigraphique;
 WERTHEIMER, Spectroscopie hertzienne et Elec-
 tronique quantique;

Maîtres de Conférences : Mme BADIER, Physique;
 Mle BASTIANI, Mathématiques;
 MM. BELLET, Spectroscopie hertzienne et Electro-
 nique quantique;
 BENADOU, Mathématiques;
 BILLARD, Stases Anisotropes;

MM. BOILLET, Spectroscopie Infra-rouge;
BUI TRONG LIEU, Mathématiques;
CHERRUAULT, Mathématiques;
CHEVALIER, Mathématiques;
DEVRAINNE, Chimie Minérale II;
Mme DIXIMIER, Mathématiques;
M. DOUCET, Chimie;
Mme DRAN, Chimie Organique II;
MM. DUSQUENOY, Chimie;
GOUDMAND, Photochimie;
GUILBAUT, Physiologie Comparée;
GUILLAUME, Microbiologie;
HANGAN, Mathématiques;
HENRY, Physique;
HERZ, Calcul Numérique;
HEYMAN, Physique;
HUARD DE LA MARRE, Calcul Numérique;
JOLY, Endocrinologie des Arthropodes;
LABLACHE-COMBIER, Chimie Organique Physique;
LACOSTE, Cryptogamie;
LAMBERT, Physique;
LANDAIS, Chimie Organique III;
LEHMANN, Mathématiques;
Mme LEHMANN, Mathématiques;
MM. LOUCHEUX, Chimie Macromoléculaire;
MAES, Spectroscopie hertzienne et Electro-
nique quantique;
METTETAL, Optique des Rayons X;
MONTEL, Physique;
NGUYEN PHONG CHAU, Mathématiques;
PANET, Electrotechnique;
PARSY, Mathématiques;
RACZY, Hyperfréquences et semi-conducteurs;
ROBERT, Mathématiques Appliquées;
SAADA, Défauts dans les Cristaux;
SEGARD, Biochimie Cellulaire;
TUDO, Chimie Minérale Appliquée;
VIDAL, Automatique Théorique et Appliquée;
Mme ZINN-JUSTIN, Mathématiques.

A la mémoire d'André DUPARQUE

A mon Maître,

Monsieur Charles DELATTRE
Professeur de Géologie à
La Faculté des Sciences de Lille

Emile MERIAUX.

A ma femme

A mes parents

SOMMAIRE

HISTORIQUE

PREMIERE PARTIE

Généralités

CHAPITRE PREMIER. - Le cadre géologique

1. Les limites de l'étude
2. Les données géologiques
3. Les problèmes abordés

CHAPITRE DEUXIEME. - Nomenclatures et méthodologie

DEUXIEME PARTIE

Etude pétrologique de veines de houille du Bassin du
Nord et du Pas-de-Calais

CHAPITRE PREMIER. - Analyses macérales

1. Représentation des résultats
2. Valeur de la méthode
3. Les compositions macérales des veines étudiées

CHAPITRE DEUXIEME. - La détermination du rang

1. Teneurs en matières volatiles et indices de gonflement
2. La microdureté Vickers de la collinite
3. Le pouvoir réflecteur de la collinite
4. Examen des houilles en diascopie infra-rouge
5. Recherche sur ordinateur de types pétrographiques de houilles

CONCLUSIONS GENERALES.

AVANT-PROPOS

Par son enseignement clair, précis, attrayant, A. Duparque m'apprit à aimer la Géologie et plus particulièrement la Pétrographie Houillère dont il a été l'un des grands spécialistes de sa génération. En hommage à sa mémoire je lui dédie ce travail.

En me proposant le sujet de cette étude, M. Ch. Delattre, professeur de Géologie à la Faculté des Sciences de Lille me permit de réaliser un désir éveillé quelques années plus tôt par son enseignement. Après avoir guidé mes premières recherches au cours de la préparation d'un Diplôme d'Etudes Supérieures, il me proposa d'entrer comme Assistant dans son laboratoire et me confia l'étude pétrographique des houilles du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Sacrifiant à mon travail de longs moments, il n'a cessé de me prodiguer avec beaucoup d'aménité ses conseils, ses critiques constructives, ses encouragements. Puisse ce travail ne pas démeriter de ces marques d'estime, d'affectueuse bienveillance et de sollicitude. Qu'il me soit permis de lui exprimer mes plus vifs remerciements et ma très respectueuse reconnaissance.

Je désire également témoigner ma gratitude à tous les professeurs qui m'ont prodigué leur enseignement et m'ont fait aimer les Sciences Naturelles, M. R. Defretin, professeur de Biologie marine, Doyen de la Faculté des Sciences ; M. H. Heim de Balsac, professeur de Zoologie, Correspondant de l'Institut ; M. P. Corsin, professeur de Paléobotanique, Correspondant de l'Institut ; M. G. Waterlot, professeur de Géologie et de Minéralogie ; M. A. Bonte, professeur de Géologie appliquée ; M. M. Hoquette, professeur de Botanique générale et appliquée.

Tout au long de mes recherches, M. P. Celet, professeur de Géologie générale n'a cessé de me manifester l'intérêt qu'il portait à mes travaux. Il m'a fait largement profiter de ses conseils et de ses remarques. Dans les moments difficiles, j'ai toujours pu compter sur ses précieux encouragements et sa sollicitude. J'ai le très grand plaisir de lui exprimer toute ma respectueuse gratitude.

Il m'est particulièrement agréable d'adresser mes vifs remerciements à M. le professeur J. Dercourt qui a bien voulu s'intéresser aux progrès de mon travail et me faire bénéficier de son expérience. Je tiens également à dire à M. J. Prouvost, professeur de Cristallographie, ma reconnaissance pour l'accueil qu'il m'a toujours réservé dans son laboratoire et la bienveillance dont il a fait preuve à mon égard.

J'ai pu grâce à l'obligeance de M. P. Bacchus, professeur au Laboratoire de Calcul de la Faculté des Sciences de Lille, soumettre toutes les informations dont je disposais à des analyses statistiques sur ordinateur. Il m'est très agréable de lui exprimer ici ma très vive gratitude. M. B. Leguy, Technicien-programmeur, m'a toujours réservé un accueil chaleureux. Il n'a pas ménagé son temps pour programmer et résoudre les problèmes particuliers que je lui soumettais. Je suis heureux de lui adresser mes plus vifs remerciements.

J'ai pu entreprendre ce travail grâce à l'accord de M. A. Bouroz, Ingénieur en Chef, Chef du Service Géologie-Gisement aux Charbonnages de France. C'est pour moi un devoir fort agréable de pouvoir lui exprimer ici ma très vive gratitude et ma respectueuse reconnaissance.

Sans l'aide matérielle de l'Institut de la Houille, une grande partie de ce travail n'aurait jamais vu le jour. Je tiens à dire à M. le professeur P. Corsin, Directeur de l'Institut de la Houille, l'expression de ma profonde gratitude.

Je dois à l'obligeance de M. J. Chalard, Ingénieur principal, Chef des Etudes géologiques au Service géologique central des Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais d'avoir pu disposer de tous les documents, plans, analyses et renseignements nécessaires à mon étude. Qu'il me permette de lui témoigner l'expression de ma profonde gratitude.

Le matériel étudié dans ce mémoire n'aurait jamais pu être rassemblé sans le concours des Ingénieurs des Ressources et des Etudes géologiques des Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. J'adresse, tout d'abord, mes plus vifs remerciements à M. P. Dollé, Ingénieur-Géologue, Chef du laboratoire de pétrographie de Drocourt, ainsi qu'à ses collaborateurs. Chaque fois que cela fut nécessaire, le laboratoire fut mis à ma disposition et, là, j'ai toujours trouvé un enthousiasme et une sollicitude sans égale. Consacrant à mon travail de longs moments, M. P. Dollé n'a cessé de me faire bénéficier de sa grande connaissance des problèmes sédimentologiques propres au Houiller.

Mes recherches m'ont conduit dans tous les groupes d'exploitation du Bassin. L'accueil bienveillant de MM. les Directeurs de Groupe et l'empressement de MM. les Ingénieurs-Géologues m'ont été extrêmement précieux. Pour le temps qu'ils ont, malgré leur activité, consacré à mes recherches et l'aide efficace qu'ils m'ont apportée, j'éprouve un grand plaisir à remercier ici MM. M. Buisine, A. Dalinval, M. Lamotte, G. Puibaraut et S. Vigreux.

C'est à M. F. Legrand, Chef-Géomètre au Service géologique central que je me dois de témoigner ma profonde reconnaissance. En sa compagnie, j'ai réalisé la plupart des prélèvements de charbon dans tout le Bassin.

Mes plus vifs remerciements vont également à M. L. Dussart, Chef-Géomètre au Service Géologique Central. Malgré son immense activité, il a sacrifié à mon travail de longs moments pendant lesquels j'ai bénéficié de sa très grande expérience.

Au cours de la fréquentation de son laboratoire, M. A. Beugnies, professeur à la Faculté Polytechnique de Mons (Belgique) a bien voulu guider mes premiers pas dans l'étude des macéraux par la recherche de leur microdureté et l'observation de leurs caractères en diascopie infra-rouge. Qu'il me permette de lui adresser l'expression de ma respectueuse et très profonde gratitude.

A l'Institut National de l'Industrie charbonnière à Liège (Belgique) j'ai pu m'initier aux techniques de l'analyse macérale et aux mesures modernes de pouvoir réflecteur des houilles auprès de M. le Docteur R. Noël. Par ses nombreux conseils il a grandement facilité mes études pétrographiques et je suis heureux de lui exprimer ici ma très respectueuse reconnaissance.

J'adresse mes plus vifs remerciements à Madame S. Defretin et MM. J. Paquet et M. Waterlot, Maîtres-Assistants. L'intérêt qu'ils n'ont cessé de me témoigner et l'appui moral qu'ils m'ont apporté m'ont été d'un grand secours.

Depuis quelques années, j'ai pu assister aux réunions du Comité International de Pétrographie des Charbons. J'ai eu récemment l'honneur d'y être accueilli comme Membre de la Commission des Analyses et les conversations et les contacts que j'ai pu y avoir m'ont été d'un grand profit. Qu'il me soit permis d'en remercier tous les membres en la personne de leur Président, M. W. Spackman, de leur Secrétaire, M. E. Stach, et des Présidentes des Commissions, Mlle M.Th. Mackowsky et Mme M. Teichmüller.

Au cours de mes investigations, j'ai pu collaborer avec les chercheurs qui ont fréquenté le laboratoire de pétrographie houillère de la Faculté des Sciences ; Mme C. Broquet, Mme M.C. Raudrant-Peyois, MM. G. Desailly, Y. Pruvoost, J. Rueda-Gaxiola et M.J. Lemos de Souza. Ils se sont attachés, au cours de la préparation de Diplômes d'Etudes Supérieures ou de Thèses, à résoudre les problèmes techniques de préparation d'échantillons, à étudier le caractère subjectif qui risque d'entâcher d'erreurs

les comptages de macéraux et à établir des corrélations de veines par les analyses pétrographiques. Les vérifications supplémentaires qu'ils m'ont permis de réaliser ont contribué à l'élaboration de ce travail. Il m'est très agréable de leur présenter ici tous mes remerciements.

Mme M. Massinon et Melle F. Petiaux ont assuré avec le plus grand soin la dactylographie du texte. Par ailleurs, M.P. Delvinquier, M. A. Leblanc, Photographe au Département des Sciences de la Terre, MM. M. Prouvost, Dessinateur et M. Pluquin, ont par leur dévouement, leur zèle et leur patience grandement facilité ma tâche. Je leur sais bon gré pour le talent, le soin et la minutie dont ils ont fait preuve. Je les remercie tous bien sincèrement.

Enfin, je n'oublierai pas la compréhension, le dévouement et la conscience professionnelle que l'on trouve à la mine et ma reconnaissance s'adresse à tous les mineurs qui n'ont jamais ménagé leur peine pour me rendre le travail plus aisé et auprès de qui j'ai toujours trouvé un accueil des plus chaleureux et particulièrement touchant.

HISTORIQUE

Lorsqu'en 1923 André Duparque aborde l'étude pétrographique des combustibles solides, personne ne doute de l'origine végétale des houilles. Cependant les nombreux auteurs dont on peut trouver la longue liste dans la bibliographie du mémoire d'A. Duparque (1933) s'attachaient alors à des problèmes très particuliers ou à des curiosités telles que les bogheads et les cannel-coals. De plus, les techniques d'études utilisées à cette époque sont fort variées et les procédés parfois si violents que l'on peut se demander si les structures observées ne sont pas des artefacts ou bien des images très déformées de la réalité. Ainsi, les houilles sont incinérées, éclaircies par ébullition dans le pétrole, mises à macérer ou attaquées à l'aide de réactifs chimiques fort puissants. Parfois, on tente d'effectuer le transfert des structures sur du baume fluide. Certains de ces procédés d'investigation sont actuellement utilisés à des fins bien précises. Cependant, les techniques chimiques n'ont pas encore, à ce moment, la souplesse d'utilisation que nous leur connaissons aujourd'hui et les produits ne présentent pas toutes les garanties requises. Ainsi, les structures observées selon ces méthodes sont médiocres et peu exploitables.

Parallèlement à ces procédés parfois qualifiés de drastiques, certains auteurs se sont attachés à la confection de lames minces. Cependant, les houilles sont par essence des matériaux opaques. Seuls certains produits bitumineux sont transparents et les bonnes figurations relevées dans la littérature ne concernent que les houilles à teneurs en matières volatiles supérieures à 26 %. Ces combustibles commencent à dévoiler peu à peu leurs structures. Ainsi antérieurement à 1923 on admet généralement qu'il existe des houilles riches en spores, alors que d'autres en seraient

dépourvues ou en contiendraient fort peu. De plus, l'existence d'une substance amorphe parfois prédominante est démontrée. Cependant, l'unanimité est réalisée quand il s'agit de définir les constituants macroscopiques des houilles.

Dès 1887, H. Fayol les décrit déjà clairement. Il les nomme respectivement fusain ou houille mate fibreuse, houille claire, houille moyenne ou foliaire et houille terne ou grenue. M. C. Stopes (1919) propose de les désigner par les termes de fusain, vitrain, clarain et durain et C.A. Seyler (1954) les réunira beaucoup plus tard sous la dénomination de Lithotypes dans la nomenclature internationale actuelle dite "Stopes-Heerlen".

Dès le début de ce siècle, certains tentent d'interpréter les résultats de leurs examens microscopiques. Ces tentatives sont pour la plupart stériles en raison de la valeur technique des observations effectuées à cette époque. Il en sera de même lorsque franchissant une nouvelle étape les chercheurs aborderont le problème particulièrement difficile de l'origine des houilles. Immédiatement les allochtonistes s'opposent aux autochtonistes et par manque de renseignements précis la doctrine admise oscille d'une école à l'autre.

Le problème préliminaire qu'André Duparque va s'attacher à résoudre, est de mettre au point une méthode d'investigation nouvelle permettant une meilleure observation. Devant la multiplicité des méthodes préconisées dont aucune ne s'est encore définitivement imposée, il recherche une technique universelle applicable à tous les types de combustibles. La confection de lames minces ne convient qu'à certains types de houille, l'attaque des surfaces doit masquer certaines structures et en détruire d'autres. Il adopte la technique d'étude des houilles par réflexion. Il bénéficie du récent perfectionnement optique apporté au dispositif Nachet par Henri Le Chatelier inventeur du microscope par réflexion, dispositif primitivement mis au point en vue de l'étude des métaux. Cependant si sur un tel matériel il est relativement aisé de réaliser des surfaces polies, le charbon se comporte, lui, fort différemment. Si le polissage est trop

poussé, les structures sont masquées (polissage spéculaire) ; attaqué chimiquement, des artéfacts peuvent apparaître ; faiblement poli, des stries altèrent le plus souvent les surfaces. A. Duparque, par de patientes et minutieuses recherches, surmontera ces difficultés et nous lui devons la méthode du simple polissage dont il décrit les différentes étapes en détail dans son mémoire. Elle offre la garantie d'exhumer la structure vraie.

La méthode étant bien au point, A. Duparque s'attache alors à définir tous les composants microscopiques des combustibles solides, à jeter les bases d'une classification des houilles et à en proposer un mode possible de formation. Pendant plus de trente années, il précisera ses observations et ses conclusions à l'aide d'exemples pris dans le monde entier. De cette manière, il a apporté à la connaissance géologique des bassins houillers des données jusqu'alors fort confuses permettant de mieux comprendre leur genèse. Grâce à ces recherches magistrales et parmi les résultats fondamentaux obtenus par A. Duparque, les techniciens ont trouvé d'emblée des applications lors du traitement et de la mise en valeur technologique des charbons et de leurs sous-produits. L'impulsion était donnée et A. Duparque reconnaissait lui-même que *"l'étude microscopique des houilles laisse subsister un champ d'investigation très vaste... et dont la mise en valeur sera l'oeuvre de demain"*.

Le travail tenace d'André Duparque a ouvert la voie aux méthodes plus fines de la pétrographie houillère moderne. Il fallait tout d'abord décrire et s'attacher au qualitatif avant de normaliser, mathématiser et figer des notions fondamentales. En 1935, voulant définir dans un langage commun les différents constituants élémentaires des houilles, M.C. Stopes crée le terme "macéral" par analogie avec les minéraux des roches. La même année, E. Stach (1935) publie son très important précis de pétrographie des charbons. Il y introduit quelques notions concernant les études quantitatives. Des analyses quantitatives des constituants macroscopiques ont été faites, dès 1943, par P.A. Hacquebard et en 1944 par A.L.F.J. Maurenbrecher qui ont tenté d'établir des corrélations de veines en comparant les pourcentages de vitrain, clarain, durain et fusain.

Le départ est donné et en 1948 B.C. Parks et H.J. O'Donnell préconisent une méthode de détermination quantitative des composants microscopiques dans les lames minces de houille grâce à un micromètre du type "Whipple disc". Cette proposition n'est pas appliquée immédiatement et en 1951, P.A. Hacquebard utilise encore pour l'étude des charbons canadiens les méthodes qui lui ont donné de bons résultats en Hollande. Cependant la même année, C. Abramski, M.Th. Mackowsky, W. Mantel et E. Stach (1951) réalisent des observations microscopiques quantitatives grâce à un micromètre strié et figurent des profils de veines où prennent place les macéraux. Les appareils micrométriques vont alors se perfectionner de plus en plus et permettre d'apprécier les compositions macérales des combustibles avec beaucoup plus de précision. A la grille de comptage (Whipple disc) américaine correspondent en Europe des réticules et des oculaires de 20 points. Dès lors, les analyses quantitatives vont supplanter les observations qualitatives et c'est à ces méthodes modernisées (B. Alpern, 1955) que vont s'attacher de par le monde les laboratoires de recherches sur le charbon. Les modes de représentation des résultats iront en s'améliorant et en se diversifiant : histogrammes, profil de veines, diagrammes triangulaires en plan (cf. in B. Alpern 1959 et 1960) ou dans l'espace (V. Hevia Rodriguez, 1964).

Par ailleurs, on connaissait depuis longtemps l'influence de certains composants et celle du degré d'évolution des houilles sur les phénomènes de la cokéfaction ou sur certaines propriétés industrielles (M. Legraye, 1929 et 1931). La concordance des termes de la classification chimique de Grüner (1874) ou de celle de Loiret (1932) avec les types pétrographiques de houilles définis par A. Duparque (1933) en était une illustration logique. Les relations entre les composants pétrographiques et les propriétés technologiques sont précisées tant aux Etats-Unis (R.M. Kosanke, 1952) qu'en Europe (cf. in M.Th. Mackowsky, 1953 a). Dès lors, l'industrie exigera peu à peu des pétrographes, des données de plus en plus exactes. Ces derniers sont donc amenés à rechercher, à l'instar des pétrographes soucieux de classer les roches éruptives (A. Delesse, 1848 ; A. Rosiwal, 1898 ; A.A. Glagolev, 1933 ; F. Chayes, 1955 et 1956), des

techniques précises de comptages des macéraux. L'utilisation de la platine intégratrice (B. Alpern, 1953) permet en outre d'étudier la structure des cokes et éventuellement d'en établir une classification. La recherche systématique des données quantitatives par l'analyse pétrographique des houilles permet de prévoir la qualité des cokes obtenus à partir de différents types de combustibles (B. Alpern, 1954 a).

Mais, la composition macérale n'est pas le seul caractère influençant les propriétés industrielles des houilles et, le degré de houillification atteint par un charbon, c'est-à-dire son rang, est, lui aussi, déterminant. En 1950 et 1954, E. Burstlein avait obtenu d'excellents résultats dans le domaine de la cokéfaction en tenant compte des différences de dureté des lithotypes. P.C. Newmann et P.F. Whelan (1952) avaient fait progresser les techniques de cokéfaction en utilisant les différences du pouvoir réflecteur des houilles (1). Dès lors, dans le domaine de la pétrographie des charbons, la recherche pure a fait son entrée dans les instituts de recherche appliquée. Les problèmes sont désormais abordés avec des techniques de plus en plus élaborées fournissant des résultats statistiques extrêmement importants. Il serait fort présomptueux de vouloir citer tous les travaux publiés. La littérature foisonne de publications. C'est pourquoi je me limiterai à un simple résumé des grandes tendances qui se dégagent de cet ensemble.

Les propriétés physico-chimiques et cokéfiantes des macéraux sont précisées (B. Alpern, 1954 b, 1956 a, 1959, 1966). Les problèmes de cokéfaction sont désormais vus sous des angles nouveaux (A.F. Boyer, S. Durif et B. Alpern, 1954 ; I.L. Ammosov, I.V. Eremin et B.G. Babashkin, 1954 ; P.L. Coppens et R. Noël, 1954 ; G.A. Monnot et A. Ladam, 1955 ; W. Spackman, A.H. Brisse et W.F. Berry, 1956 ; B. Alpern, 1956 b ; I.L. Ammosov, I.V. Eremin, S.I. Sukhenko et L.S. Oshurkova, 1957 ; A. Ladam, P. Iselin et B. Alpern, 1958 ; C.E. Marshall, J.A. Harrison, J.A. Simon et M.A. Parker, 1958 ; I.V. Eremin, 1959 ; J.A. Harrison, 1960 et 1961 ; W. Spackman, W.F. Berry, R.R. Dutcher et A.H. Brisse, 1960 ; M.Th. Mackowsky, 1962 ; H.S. Pareek, 1963 ; R. Busso et B. Alpern, 1963 ; B. Alpern et

(1) A propos de la microdureté et du pouvoir réflecteur des houilles, le lecteur pourra trouver des listes bibliographiques importantes in Ch. Delattre et E. Mériaux, 1964 et E. Mériaux, 1964.

Busso H., 1963; R. Noël, 1967 *in* P.L. Coppens, 1967). La pétrographie et l'industrie charbonnière sont devenues complémentaires (E. Stach, 1953 ; G.H. Cady, 1958), et les méthodes utilisées sont confrontées (M.Th. Mackowsky, 1958 a). Partout, la microscopie prend une place prépondérante dans l'industrie charbonnière (C.E. Marshall, 1955 ; B. Alpern et R. Chauvin, 1958 ; M.Th. Mackowsky et M.U. Otte, 1958; R. Chauvin, 1960 ; M.Th. Mackowsky et K. Kötter, 1960 ; B. Alpern, 1961 a et b). Cependant les questions concernant l'application de la pétrographie à des fins technologiques ne sont pas les seules à retenir l'attention des chercheurs qui se préoccupent aussi des grands problèmes posés par la genèse et les phénomènes de houillification (M. Th. Mackowsky, 1953 b; P.P. Timofeev, 1955 ; R. Teichmüller, 1952 ; M. Teichmüller, 1958 ; K. Patteisky et M. Teichmüller, 1958 et 1960 ; W. Spackman, 1958 ; W. Spackman et R.G. Moses, 1961 ; E. Stach et J. Depireux, 1964 ; B. Alpern, 1964 ; R. Noël, 1966). Les problèmes particuliers soumis aux pétrographes sont de plus en plus variés. On en trouvera des exemples dans B. Alpern, 1963 ; A. Davis et W. Spackman, 1964 et B. Alpern, 1965.

La structure tectonique et la stratigraphie des bassins étant mieux connues (A. Bouroz, 1940, 1947, 1948 a, b et c, 1950 a et b, 1954, 1959 et 1963 a ; J. Chalard, 1946 ; M. Stiévenard, 1949 ; A. Bouroz, J. Chalard et M. Stiévenard, 1951 ; A. Dalinval, M. Stiévenard et G. Tournay, 1952 ; A. Dalinval et M. Stiévenard, 1953 ; P. Danzé-Corsin, 1953 ; A. Dalinval, 1954 ; J. Danzé, 1956; J. Chalard, 1960 ; A. Dalinval, 1960 ; A. Bouroz, J. Chalard, A. Dalinval et M. Stiévenard, 1961 ; M. Buisine, 1961 ; P. Corsin, 1962 ; J.P. Laveine, 1967), la qualité et la précision des informations se perfectionnant de jour en jour, il est désormais possible de procéder à des études plus fines des mécanismes de dépôts et de leurs résultats (X. Stainier, 1943 ; S. Van der Heide, 1949 ; P. Stassen, 1949 ; A. Delmer, 1952 ; M. Th. Mackowsky, 1955 ; L. Coppens, R. Noël et J. Venter, 1955 ; P. Dollé, 1958, 1962 et 1967 ; B. Alpern, J.J. Liabeuf et G.K.B. Navale, 1965 ; A. Bouroz, 1958, 1960 a, 1962 a et 1967 a ; R. Noël, 1962 ; B. Alpern, 1967a).

Le développement important de la pétrographie houillère et le souci d'homogénéiser les termes utilisés par les pétrographes ont incité le Comité International de Pétrologie des Charbons, dès sa création en 1953, à s'attacher à l'élaboration d'un lexique. La recherche d'une définition précise des macéraux et de leurs caractéristiques technologiques a conduit les auteurs à effectuer de nouvelles observations (P.A. Hacquebard, 1952 ; A. Duparque et Ch. Delattre, 1954 a et b ; C.E. Marshall, 1954 ; E. Stach, 1956 a et 1964 ; A. Duparque et F. Morand-Judas, 1956 a, b, c, d, e et f ; R.M. Kosanke et J.A. Harisson, 1957 ; E. Stach et W. Pickhardt, 1957 et 1964 ; K. Benès et J. Kraussova, 1964 ; Ch. Delattre et E. Mériaux, 1966). Des définitions sont proposées à la Commission de Nomenclature et des termes nouveaux apparaissent. Ainsi, C.A. Seyler (1954) rassemble sous la dénomination de microlithotypes des monomacéraux, bimacéraux et des trimacéraux dont les limites sont définies quantitativement. Le besoin d'universaliser l'emploi de ces termes et de confronter les résultats obtenus nécessitent la création, l'année suivante, d'une Commission Internationale des Analyses (1955). Les conclusions des travaux de la Commission de Nomenclature sont réunies en 1957 dans le lexique du Comité International de Pétrologie des Charbons. De plus, les perfectionnements de la technique microscopique tant optique (B. Alpern et G. Nomarski, 1954 ; E. Stach, 1958 a et b) qu'électronique permettent de scruter avec beaucoup plus de finesse les macéraux (B. Alpern et S. Prégermain, 1956 et 1965) ou d'étudier les inclusions minérales contenues dans les charbons (V. Hevia Rodriguez, 1960). En 1963 paraît la deuxième édition (C.I.P.C., 1963) du lexique international de pétrographie des charbons. Dans la première partie, consacrée aux nomenclatures, on trouve la définition des termes utilisés dans les différents systèmes (Stopes-Heerlen, Thiessen-Bureau of Mines, W. Spackman et Institut de Géologie de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S.). Les Tonstein y sont aussi définis ainsi que le rang des charbons. Dans la deuxième partie, entièrement nouvelle, sont exposés les résultats des travaux de la Commission des Analyses dont le *"but est de mettre au point des méthodes capables de définir quantitativement, avec précision, les macéraux, les microlithotypes et le rang des charbons décrits dans le lexique"*. Comme nous le voyons, les systèmes de classifications sont fort variés et cela entraîne la réalisation de véritables dictionnaires des synonymes.

Les travaux se poursuivent et de nouveaux composants sont discernés. En 1955, B. Alpern introduit le terme vitrinertite et en 1964, il propose une subdivision de la collinite, dans le cadre du système Stopes-Heerlen, en homocollinite et hétérocollinite. E. Stach et B. Alpern (1966) montrent que la micrinite (s.1) peut être divisée en trois macéraux distincts : l'inertodétrinite, la macrinite et la micrinite (s.s.). Enfin, la volonté de définir un combustible par un seul terme conduit à des néologismes de plus en plus compliqués d'où se dégage quelquefois mal le terme prépondérant.

C'est devant une multitude de publications fort variées dans lesquelles, bien souvent, les termes pétrographiques utilisés n'ont pas exactement la même signification que je me suis trouvé en 1961 au moment où j'ai abordé l'étude des houilles du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Mais fort heureusement, les descriptions données par les auteurs permettent le plus souvent d'effectuer les correspondances nécessaires.

Sous l'impulsion de M. Ch. Delattre, professeur à la Faculté des Sciences de Lille, j'ai pu fréquenter les congrès internationaux rassemblant les pétrographes houillers et effectuer des stages dans des laboratoires spécialisés. J'ai pu ainsi acquérir le langage pétrographique houiller européen et me familiariser avec les techniques les plus modernes utilisées pour la préparation, l'observation et la détermination des échantillons de houilles les plus diverses.

Ainsi, jusqu'en 1948, la pétrographie houillère reste descriptive. Des termes simples, auxquels A. Duparque (1951) tenait beaucoup, compris par tous, définissent des ensembles botaniques facilement identifiables. En 1948, avec l'apparition des méthodes modernes de comptages naît un langage international et l'expression mathématique va peu à peu supplanter le descriptif. Au qualitatif succède le quantitatif. L'industrie exploite les résultats de plus en plus précis fournis par les laboratoires et la rigueur mathématique des résultats des analyses rend au technicien de précieux services. Les outils s'aiguisent, s'affinent et pénètrent de

plus en plus les questions posées par les combustibles solides. Les analyses trouvent des applications directes pour une meilleure utilisation des différents types de combustibles et la recherche reste le plus souvent appliquée. Dans bien des cas elle supplante la recherche pure et la fabrication du coke ou des matières plastiques fait oublier quelque peu l'alluvion végétale. La statistique sert l'industrie, elle se devait un jour ou l'autre de se mettre au service de la recherche des causes originelles, des phénomènes de dépôt, de diagénèse et de carbonification géochimique des houilles.

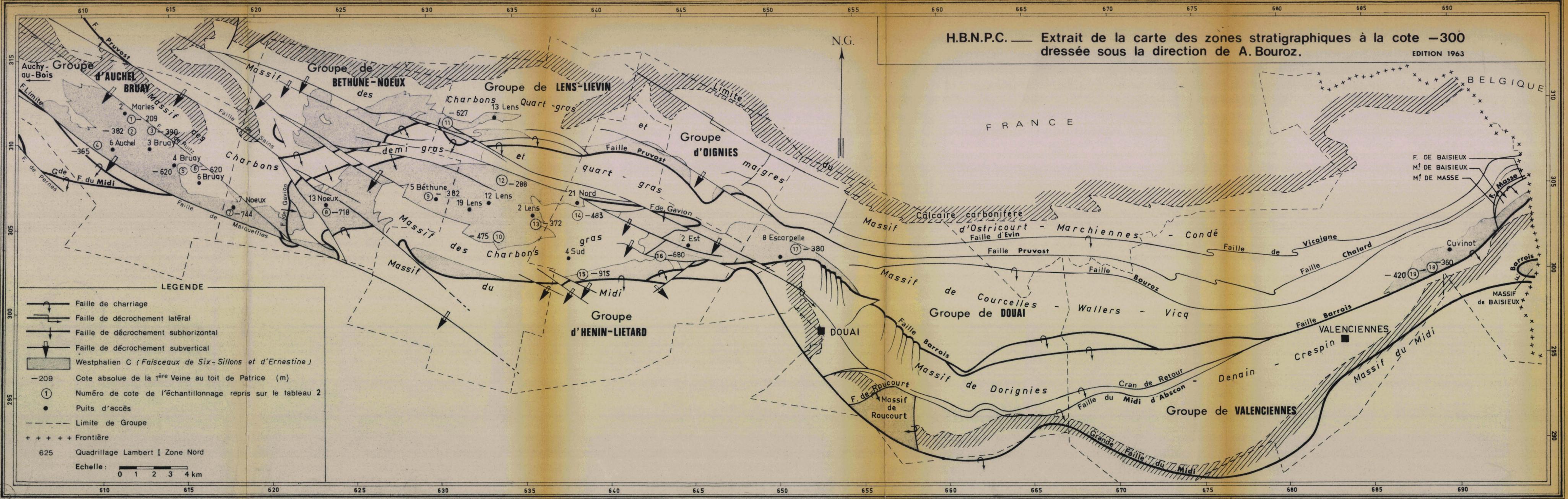
PREMIERE PARTIE

GENERALITES

CHAPITRE PREMIER

LE CADRE GEOLOGIQUE

H.B.N.P.C. — Extrait de la carte des zones stratigraphiques à la cote -300 dressée sous la direction de A. Bouroz. EDITION 1963



LEGENDE

- Faillle de charriage
- Faillle de décrochement latéral
- Faillle de décrochement subhorizontal
- Faillle de décrochement subvertical
- Westphalien C (Faisceaux de Six-Sillons et d'Ernestine)
- 209 Cote absolue de la 1^{ère} Veine au toit de Patrice (m)
- ① Numéro de cote de l'échantillonnage repris sur le tableau 2
- Puits d'accès
- - - - - Limite de Groupe
- + + + + + Frontière
- 625 Quadrillage Lambert I Zone Nord

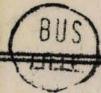
Echelle: 0 1 2 3 4 km

Tableau. 1 — PROJECTION SUR LA CARTE DU BASSIN HOUILLER DU NORD ET DU PAS-DE-CALAIS A LA COTE -300 DES DIFFERENTS POINTS DE PRELEVEMENTS.

PRINCIPALES DIVISIONS DU TERRAIN HOUILLER DU NORD DE LA FRANCE
 (d'après A. Bouroz, 1960)

Fig. 1. —

WESTPHALIEN	Westphalien C 690 à 1300m	ASSISE DE BRUAY	Faisceau d'Edouard (130 à 260m)
		 Poudingue d'Edouard
			Tonstein Ulric
			Faisceau de Dusouich (200 à 250m)
			Tonstein Talence
	Westphalien B 250 à 680m	ASSISE D'ANZIN	Faisceau d'Ernestine (220 à 360m)
			Tonstein Patrice
	Westphalien A 135 à 450 m	ASSISE DE VICOIGNE	Faisceau de Six-Sillons (220 à 620m)
			Niveau marin de Rimbert
		ASSISE DE FLINES	Faisceau de Pouilleuse (100 à 350m)
Niveau marin de Wingles			
NAMURIEN	ASSISE DE FLINES	Faisceau de Meunière (130 à 370m)	
		Niveau marin de Poissonnière	
	ASSISE DE BRUILLE	Faisceau de Chandeleur (90 à 240m)	
		Niveau marin de la passée de Laure	
		Niveau à <u>Gastrioceras subcrenatum</u>	
		Faisceau de Marie (45 à 340m)	
		Base du niveau marin à <u>Hudsonoceras proteum</u>	
		Faisceau de St'Georges (12 à 220m)	
		Base du niveau marin à <u>Homoceras beyrichianum</u>	
		Faisceau Stérile (8 à 140m)	
DINANTIEN			(Calcaire carbonifère) Horizon à <u>Glyphioceras spirale</u>



Le Bassin Houiller du Nord et du Pas-de-Calais (tabl. 1) s'étend sur plus de 100 km de la frontière belge à l'Est aux collines de l'Artois à l'Ouest. En forme de V hercynien très ouvert, il est orienté selon une direction varisque nord-est-sud-ouest de Valenciennes à Douai où il prend alors une direction armoricaine sud-est-nord-ouest. C'est un bassin de type paralique reposant en effet en concordance sur un Calcaire carbonifère d'âge dinantien. Il est surmonté en discordance par une couverture d'âge secondaire et tertiaire constituant les "morts-terrains". Il comprend (fig. 1) un Namurien surtout marin surmonté par un Westphalien productif dont l'aire de dépôt n'est plus affectée que par quelques venues marines (Niveau de la Passée de Laure, Poissonnière, Niveaux marins de Wingles et de Rimbert). Le Westphalien productif est divisé (R. Zeiller, 1886 et A. Bouroz, 1960 b) en Westphalien A ou Assise de Vicoigne à laquelle il faut adjoindre le faisceau d'Olympe de l'Assise de Flines namurienne pro parte, en Westphalien B ou Assise d'Anzin et en Westphalien C ou Assise de Bruay. Le Westphalien D et le Stéphalien y sont inconnus. Chaque assise est elle-même, subdivisée en faisceaux de veines à l'aide de niveaux repères tels que Tonstein (Graziella, Patrice, Talence, Ulric) niveau marin (niveau marin de Wingles) ou horizons paléontologiques (Homoceras beyrichianum, Gastrioceras subcrenatum). Chaque faisceau est caractérisé par des associations végétales (P. Corsin, 1962).

Avant d'exposer les résultats auxquels je suis parvenu, à la suite d'analyses pétrographiques et sédimentologiques, je voudrais tout d'abord préciser les limites exactes de mon étude, résumer ensuite rapidement les données géologiques, les résultats importants et les connaissances nouvellement acquises dont j'ai pu disposer et enfin énoncer les

problèmes que je me suis proposé d'aborder et de tenter de résoudre.

I . LES LIMITES DE L'ETUDE

En abordant l'étude de la genèse des combustibles du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais, j'avais primitivement un vaste domaine de recherches tant dans l'espace et le temps que dans les horizons pétrographiques nombreux et variés qui le constituent.

Dans l'espace, il convenait de couvrir le maximum de surface afin de disposer du plus grand nombre possible de points d'observation nécessaires à une reconstitution paléogéographique valable. C'est pourquoi mon étude s'étend à la quasi-totalité du Bassin Houiller du Nord et du Pas-de-Calais. Elle intéresse presque tous les groupes d'exploitation, c'est-à-dire de l'Ouest vers l'Est les groupes d'Auchel-Bruay, de Béthune-Noeux, de Lens-Liévin (1), d'Hénin-Liétard, de Douai et de Valenciennes. Seul le groupe d'Oignies n'est pas concerné.

Dans le temps, les colonnes stratigraphiques, établies par le Service des Ressources et des Etudes géologiques des Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais, se répartissent du Namurien (Assise de Bruille) au Westphalien C (Assise de Bruay). Compte tenu de l'état actuel de l'exploitation et de la disposition géométrique du Bassin il était impensable d'étendre une telle étude à la totalité du Westphalien et ceci sur une grande surface. Par conséquent, si les limites géographiques furent faciles à fixer, il fallait désormais choisir le niveau à étudier. Au moment où j'ai abordé ce travail, l'exploitation se situait pour la plupart des fosses dans le Westphalien, mais à des horizons différents peu corrélés. Par ailleurs, il existe dans cet étage géologique des niveaux repères

(1) Au moment où j'ai entrepris la rédaction de ce mémoire, les groupes de Béthune-Noeux et de Lens-Liévin étaient autonomes. Ils sont maintenant réunis sous l'appellation commune de "groupe de Lens". Cependant j'ai conservé les anciennes dénominations pour garder le répertoire que j'avais été amené à constituer au début de mes recherches.

bien connus des mineurs et couramment utilisés par les géologues. Il s'agit de sols de végétation, de niveaux de Tonstein, de niveaux marins et de certains niveaux de faciès des toits (A. Bouroz, 1958). Il n'est pas de mon propos de décrire les avantages, les inconvénients et la fidélité que présentent tel ou tel de ces niveaux. Bien que pour l'exploitation d'un gisement aussi complexe que celui du Nord et du Pas-de-Calais, chacun de ces repères ait sa valeur propre, il n'en est pas moins vrai que, parmi eux, les niveaux de Tonstein constituent des "repères de choix dans les corrélations lointaines" (A. Bouroz, 1958, 1967 a et 1968). C'est en 1923 que P. Termier a ébauché l'étude de leur composition minéralogique et P. Pruvost en 1934 a précisé dans le Bassin Houiller de Sarre et de Lorraine leur stratigraphie et a proposé une explication de leur origine. Certes les niveaux de Tonstein (J. Scheere 1955 et 1964; A. Schuller, 1951) peuvent avoir des origines diverses (A. Bouroz, 1962 b ; J.G. Prado, 1964) mais il apparaît pour un grand nombre d'entre eux, que l'origine volcanique (A. Bouroz, 1966 a et b) soit la plus plausible. A la lumière des données acquises au fil des années dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais et indépendamment des problèmes de genèse (J. Chalard, 1951, a, b, c, et d; A. Bouroz, J. Chalard et P. Dollé 1953 ; P. Dollé, 1954 ; A. Dalinval et P. Dollé, 1956 ; A. Bouroz, P. Dollé et G. Puibaraud, 1958 ; F. Legrand, 1962 ; A. Bouroz, 1963 b et c ; J. Chalard, 1967), il était aisé de constater que le niveau du Tonstein Patrice (d'abord appelé Tonstein d'Ernestine ; J. Chalard, 1951 d) constituait un horizon repère particulièrement net, et c'est, sur les conseils des géologues houillers, que je me suis attaché à ce niveau.

Les recherches montrèrent que ce Tonstein d'abord classé sous la dénomination d'ortho-tonstein β (A. Bouroz, 1962 b) c'est-à-dire d'un "Tonstein à structure macrocristalline provenant d'un dépôt direct de cendres volcaniques" fut ensuite rattaché aux cinérites de type IV (A. Bouroz, 1967 b). "La cinérite de type IV se caractérise essentiellement par la présence d'une proportion dominante de biotites auxquelles s'ajoutent des quartz et des feldspaths". Elle "s'altère facilement en kaolinite par gonflement caractéristique des biotites. On peut y trouver des empilements en proportion quelconque de feuillets de kaolinite et de biotites...

GRUPE D'AUCHEL - BRUAY

GRUPE DE BETHUNE - NOEUX

GRUPE DE LENS - LIEVIN

GRUPE D'HENIN - LIETARD

DOUAI

GPE. VALENCIENNES

2 MARLES
Bowette Nord
- 209

2 AUCHEL
Bure Midi
- 382
- 495

3 BRUAY
Bowette
descendante
358
- 390

6 AUCHEL
Tailles 62.61
- 365

4 BRUAY
Bowette Nord Ouest
- 620

6 BRUAY
Bowette Nord
- 620

7 NOEUX
Bowette 7.234
- 744

13 NOEUX
Bow. 13002
- 718

5 BETHUNE
- 382

19 LENS
Bow. 1909
- 475

13 LENS
Bow. 180434
- 627

12 LENS
Bow. 12106
- 288

2 LENS
Bow. 2304
- 375

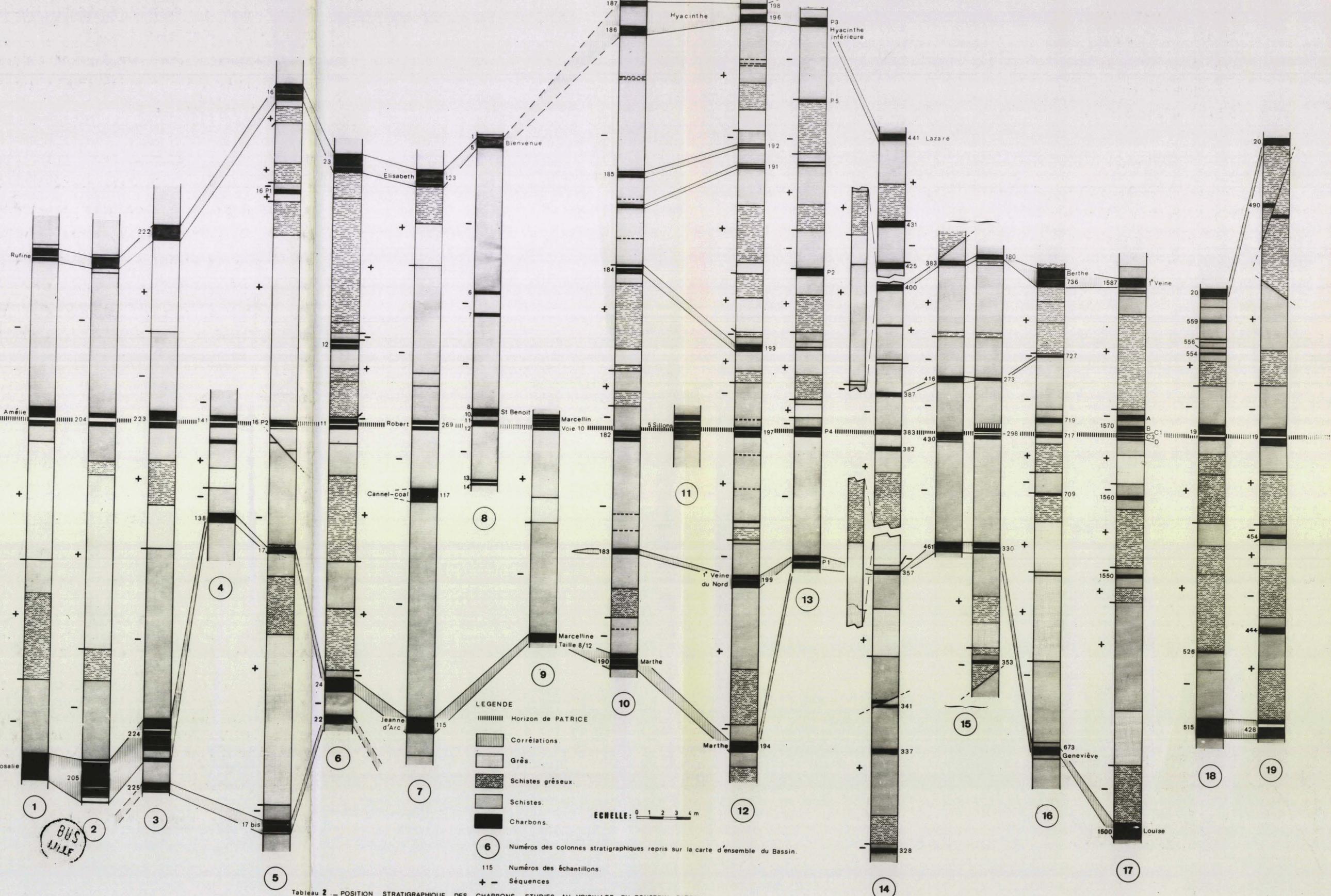
21 NORD
Frg. 042
- 483

4 SUD
Frg. 011
- 915

2 EST
Tng. 055
- 680

8 ESCARPELLE
RS 5
- 380

CUVINOT
Couchant Sud
5^e Série - 380
3^e Série - 420



LEGENDE

- Horizon de PATRICE
- Corrélatons.
- Grès.
- Schistes gréseux.
- Schistes.
- Charbons.

6 Numéros des colonnes stratigraphiques repris sur la carte d'ensemble du Bassin.

115 Numéros des échantillons.

+ - Séquences

ECHELLE: 0 1 2 3 4 m

Tableau 2 - POSITION STRATIGRAPHIQUE DES CHARBONS ETUDIES AU VOISINAGE DU TONSTEIN PATRICE.

(c'est en somme une leuvenite où la muscovite est remplacée par la biotite)". Le Tonstein Patrice, dépôt d'origine volcanique, correspond par conséquent dans la sédimentation houillère à un laps de temps très court. Je disposais donc là d'un véritable indicateur chronologique auquel je pouvais désormais me référer en toute sécurité.

Comme le montre le tableau 2, le Tonstein Patrice est le plus souvent contenu dans une veine de houille ou dans du schiste fin. A ce sujet, A. Bouroz (1967 b) a montré que le phénomène n'a rien d'exceptionnel. En effet, l'apparente liaison Tonstein-couche de houille ou Tonstein-schiste fin n'est finalement qu'une "question de probabilité mathématique" (cf. J. Chalard, 1967). Enfin, stratigraphiquement, le Tonstein Patrice constitue jusqu'alors (1) au sein de l'Assise de Bruay la limite stratigraphique entre le Westphalien C₁ (Faisceau de Six-Sillons) caractérisé par les associations végétales (P. Corsin, 1962) :

Imparipteris flexuosa Brong. (2)

Paripteris pseudogigantea H. Pot.

Mariopteris saueri Stur.

Reticulopteris minsteri Eich.

Diplotmema (Sphenopteris) striata Goth.

Diplotmema (Sphenopteris) neuropteroides Boulay.

et le Westphalien C₂ (Faisceau d'Ernestine caractérisé avec les faisceaux de Dusouch et d'Edouard par les associations végétales :

-
- (1) Le récent travail de P. Corsin, A. Bouroz et J.P. Laveine (1968) entrant dans le cadre de la révision des stratotypes du Houiller, a montré que les changements de flore utilisés pour fixer une limite Westphalien C₁-Westphalien C₂ se produisaient, en réalité, à un niveau légèrement inférieur correspondant au Tonstein Maxence où ces auteurs proposent de placer la limite Westphalien B-Westphalien C. Mais de toute façon, la position absolument exacte dans l'échelle stratigraphique du niveau que j'ai étudié ici ne peut pas avoir d'incidence sur le but que je me propose d'atteindre puisque la qualité requise était avant tout de disposer d'un repère permettant de synchroniser rigoureusement les différentes observations.
- (2) Imparipteris flexuosa Brongniart sensu Corsin, 1962 = Neuropteris chaldardi Laveine, 1967.

Linopteris subbrongniarti G.E.
Imparipteris attenuata L. et H. (1)
Paripteris scheuchzeri Hoffm. (2)
Alethopteris serli Brong.
Mariopteris latifolia Brong.
Mariopteris nervosa Brong.
Bertrandia (Pecopteris) avoldensis Stur.
Diplotmena (Sphenopteris) leonardi Bertr.
Asterotheca (Pecopteris) lobulata Zeill.

Compte tenu de l'état des travaux du fond, j'ai pu effectuer 19 prélèvements sur la quasi-totalité du bassin. J'en définirai les positions et les compositions pétrographiques plus loin.

Ces précisions (géographiques et chronologiques) étant faites, je fixerai maintenant les limites pétrographiques de mon étude. Les dépôts houillers sont, on le sait, essentiellement constitués de grès, de schistes fins, de schistes gréseux et de charbons. L'hypothèse de travail pour laquelle j'avais opté avant d'entreprendre ces recherches consistait à tenter de prolonger l'oeuvre gigantesque d'A. Duparque (1933) relative à la structure microscopique des houilles du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais grâce aux informations et aux techniques récentes. C'était une lourde tâche, si l'on songe qu'A. Duparque a consacré toute sa vie à l'étude minutieuse, patiente et obstinée des combustibles fossiles (Ch. Delattre et P. Pruvost, 1961).

A priori, j'avais donc à consacrer mon travail à l'étude des veines de houilles prélevées au voisinage du Tonstein Patrice à tous les points du Bassin où l'exploitation a permis de les atteindre. Les sédiments environnants font par ailleurs, l'objet de travaux effectués par les géologues houillers et notamment de M.P. Dollé.

(1) Imparipteris attenuata L. et H. = Neuropteris rarinervis Bunb.

(2) Paripteris Scheuchzeri Hoffm. = Neuropteris Scheuchzeri Hoffm.

De plus, j'ai pu bénéficier de prélèvements anciens effectués en vue de recherches palynologiques en des endroits devenus aujourd'hui inaccessibles. Par ailleurs, grâce à la bienveillance et à l'accueil toujours chaleureux de M.M. Buisine, j'ai pu disposer dans le groupe de Lens-Liévin d'un grand nombre d'échantillons des veines Jeanne inférieure et Emilie. Ces deux veines, situées juste au-dessus de la veine Hyacinthe (cf. tabl. 2) en prolongent la série et leur étude complète celle des sédiments situés au toit de Patrice. Ces deux veines ont déjà fait l'objet d'une étude chimique poussée (R. Petit et M. Buisine, 1957). Leur étude pétrographique en précise les caractères génétiques.

Enfin, dans le groupe de Lens-Liévin, j'ai encore eu la chance de pouvoir disposer des houilles rencontrées lors du sondage Loos 5. Ce sondage a recoupé presque tout le Westphalien.

En définitive, j'ai pu réaliser des études pétrographiques sur toute l'étendue du Bassin au voisinage du Tonstein Patrice, des observations plus détaillées des veines Emilie et Jeanne inférieure du groupe de Lens-Liévin et, enfin, des recherches suivant une verticale, grâce aux échantillons du sondage Loos 5.

II . LES DONNEES GEOLOGIQUES

Je replacerai tout d'abord les différents prélèvements de charbon dont j'ai pu disposer dans leur cadre tectonique puis dans leur contexte pétrographique. Enfin, j'évoquerai brièvement les conditions paléogéographiques dans lesquelles ont dû se dérouler ces grands phénomènes géologiques.

Le tableau 1 représente un extrait simplifié de la carte des zones stratigraphiques à la cote - 300 m dressée sous la direction de M. A. Bouroz par le Service des Ressources et des Etudes géologiques du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais.

J'y ai figuré :

- la projection des points de prélèvements numérotés d'Ouest en Est et de 1 à 19. Pour chacun d'eux, j'ai noté la cote absolue en mètres de la première veine située au toit de Patrice ainsi que le puits qui a permis d'accéder à ce niveau.

Le lecteur trouvera en annexe, pour chacun des prélèvements, le groupe d'exploitation concerné, le siège, l'étage, la bowette, les taille, voie, recoupage, bure ou série. La cote absolue du point de prélèvement (ou la cote moyenne dans le cas de bowette montante ou descendante, ou les cotes du sommet et du bas lorsque le prélèvement a été effectué dans un bure), les coordonnées géographiques Lambert des extrémités de bowettes, de veines, de taille ou de recoupage, y sont en outre mentionnées.

- Les grands traits structuraux du Bassin et les principales zones d'"affleurements" des faisceaux de Six-Sillons et d'Ernestine dont le Tonstein Patrice constitue la limite.

1. Positions géométriques des prélèvements

Le bassin houiller forme un vaste ensemble assez homogène. Sa limite nord est constituée par la remontée régulière du Calcaire carbonifère jusqu'au Tourtia cénomanien. Au Sud, le bassin s'enfonce sous une couverture siluro-dévonienne (P. Dollé et F. Legrand, 1966) charriée sur lui par l'intermédiaire de la Grande Faille du Midi à partir de laquelle des failles directionnelles aplaties en profondeur semblent prendre leur origine (A. Bouroz, J. Chalard, A. Dalinval et M. Stiévenard, 1961, p.218). Le bassin est, en effet, parcouru d'Est en Ouest par de grandes failles plates qui entraînent des répétitions dans chaque unité. Telles sont (tabl. 1) dans la région est : le Cran de Retour, les failles Barrois, Bouroz, Pruvost-Chalard, et les failles d'Evin et de Vicoigne. Notons qu'il est admis jusqu'alors que l'unité sous-jacente à la faille Pruvost représente l'autochtone et que sous cette dernière une hypothétique faille de charriage reste inconnue.

Dans la région ouest, cet agencement est compliqué par des failles de décrochement subverticales orientées Nord-Ouest-Sud-Est et par l'ensemble en gouttière de la faille de Gavion relevant, lui, d'une tectonique d'écoulement (A. Bouroz et M. Stiévenard, 1958).

Ainsi, deux régions tectoniquement différentes, une région ouest et une région est s'individualisent et nous envisagerons successivement les principaux caractères de chacune d'elles en insistant plus particulièrement sur la zone ouest où les échantillonnages de charbon ont été les plus nombreux.

A - La région orientale du bassin

Cette région s'étend du Douaisis à la zone frontalière franco-belge où l'empilement des unités est le plus complexe. On y distingue du Sud au Nord :

- le massif du Midi,
- le massif de Dorignies-Denain-Crespin,

subdivisé en quatre unités par les failles de Roucourt, du Midi d'Abscon et le Cran de Retour. Le massif de Roucourt, seul point intéressant pour cette étude (tabl. 1) est constitué par un conglomérat et ne contient que quelques veinules de charbons naturellement délaissées par l'exploitation.

De plus, le Tonstein Patrice n'y a pas été repéré et l'âge west-phalien C qu'on lui avait d'abord attribué fut récemment remis en cause (A. Bouroz, J. Chalard, A. Dalinval et M. Stiévenard, 1961, p. 197). Pour ces raisons, aucun prélèvement n'a pu y être réalisé,

- Le massif de Baisieux,

compris entre la faille de Baisieux et la faille Barrois, apparaît dans sa partie méridionale en demi-fenêtre sous le massif de Dorignies-Denain-Crespin où la partie inférieure de l'Assise de Bruay y est préservée. Malheureusement il y a quelques années, la fosse numéro 2 de Crespin qui en assurait l'exploitation a été définitivement fermée,

- le massif de Masse.

Il est très peu étendu et seulement constitué par l'Assise de Vicoigne,

- Le massif de Courcelles-Wallers-Vicq
compris entre la faille Barrois et la faille Pruvost-Chalard. Dans sa partie orientale la fosse Cuvinot a exploité jusqu'en 1967 l'Assise de Bruay et là j'ai eu la chance de pouvoir effectuer des prélèvements dans les environs du Tonstein Patrice en deux points (18 et 19 du tabl. 1) superposés du gisement.

- Le massif d'Ostricourt-Marchiennes-Condé.

Situé au Nord de la faille Pruvost, il représente l'autochtone. Il est affecté longitudinalement par la faille de Vicoigne (J. Chalard, 1945) et en raison des effets de l'érosion et de la remontée de son bord nord, les couches ramuriennes et westphaliennes (Westphalien A) y présentent un grand développement.

B - La région occidentale du bassin

Elle s'étend du Douaisis à l'Est, à la région d'Auchy-au-Bois à l'Ouest. C'est, rappelons-le, à cause des complications tectoniques affectant sa structure que cette région se distingue de la précédente. De plus, ici, en raison de la variabilité du phénomène de subsidence dans l'espace, l'accumulation des sédiments westphaliens a été beaucoup plus importante que dans la région orientale et, de ce fait, j'ai pu y effectuer bon nombre de prélèvements.

On y distingue du Sud au Nord :

- Le massif du Midi

dont la Grande Faille est ici affectée par les failles épicrotacées de Marqueffles et de Sains (A. Bouroz, 1956) entre lesquelles s'est développé le hoist de Gouy-Servins (A. Bouroz, 1948a).

- Le massif compris entre la Grande Faille du Midi et la faille limite (1) est constitué de terrains famenniens et dinantiens.

(1) A. Bouroz (1948c, p. 185) avait pensé que la faille limite pouvait être considérée comme le prolongement vers l'Ouest de la faille Barrois. Dans ce cas, ce massif correspondrait à celui de Dorignies-Denain-Crespin.

- le massif des charbons gras

limité en profondeur par la faille de Gavion. Celle-ci, rappelons-le, dessine en profondeur une gouttière légèrement dissymétrique se fermant à l'Est et à l'Ouest en s'amortissant au contact de l'unité sous-jacente. Une remontée anticlinale transversale a permis de disposer de charbons de même âge dont les uns n'ont été enfouis qu'à 300 m environ (point 12 du tabl. 1) dans la région centrale alors qu'à l'Ouest, les déformations les ont entraînés à plus de 700 m (point 8) et à l'Est à plus de 900 m (point 15).

L'exploitation a touché le Tonstein Patrice en 7 points (8 à 10 et 12 à 15) dont 6 sont situés à l'Est de la faille de Sains.

- Le massif des charbons demi-gras et quart-gras.

Situé dans le Douaisis entre la faille Pruvost et la faille Barrois, il s'insère dans sa région occidentale entre la faille Pruvost et la faille de Gavion. Ce massif a été étudié en 9 points dont 7 (1 à 7) sont situés dans la partie occidentale du massif. Ceux-ci sont tous compris entre la faille de Marqueffles et la faille de Ruitz et alignés du Nord-Est au Sud-Ouest en s'enfonçant régulièrement selon cette direction.

Le prélèvement 17 au puits 8 de l'ancienne concession de l'Escarpelle constitue, remarquons-le, le dernier jalon entre les dépôts westphaliens de l'Ouest du bassin (point 16) et ceux de sa région Est (fosse Cuvinot, points 18 et 19).

- Le massif des charbons quart-gras et maigres.

Prolongement occidental du massif d'Ostricourt-Marchiennes-Condé, il représente, comme lui, l'autochtone. Un seul prélèvement a pu y être effectué (point 11) au siège 13 de Lens à la cote -627 m. Dans le groupe d'Oignies, bien que l'exploitation ait rencontré les environs du Tonstein Patrice, je n'ai pas eu la chance de pouvoir obtenir d'échantillons de ce niveau.

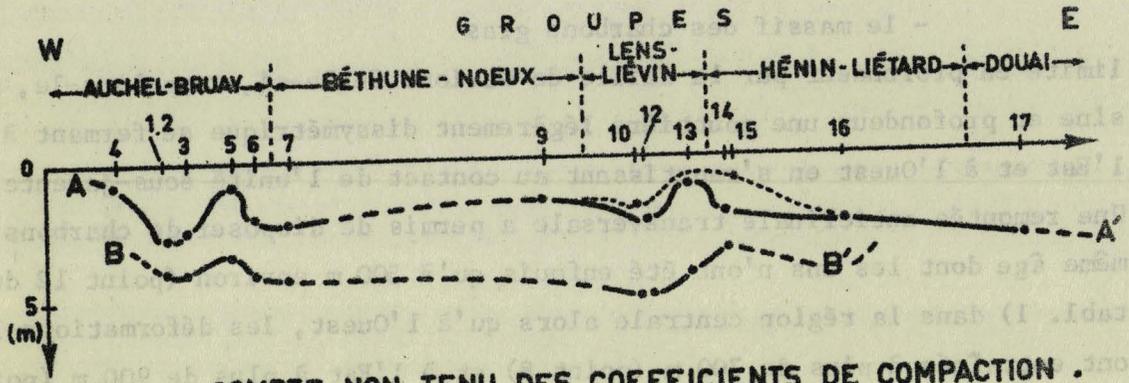


Fig. 2a. — COMPTÉ NON TENU DES COEFFICIENTS DE COMPACTION.

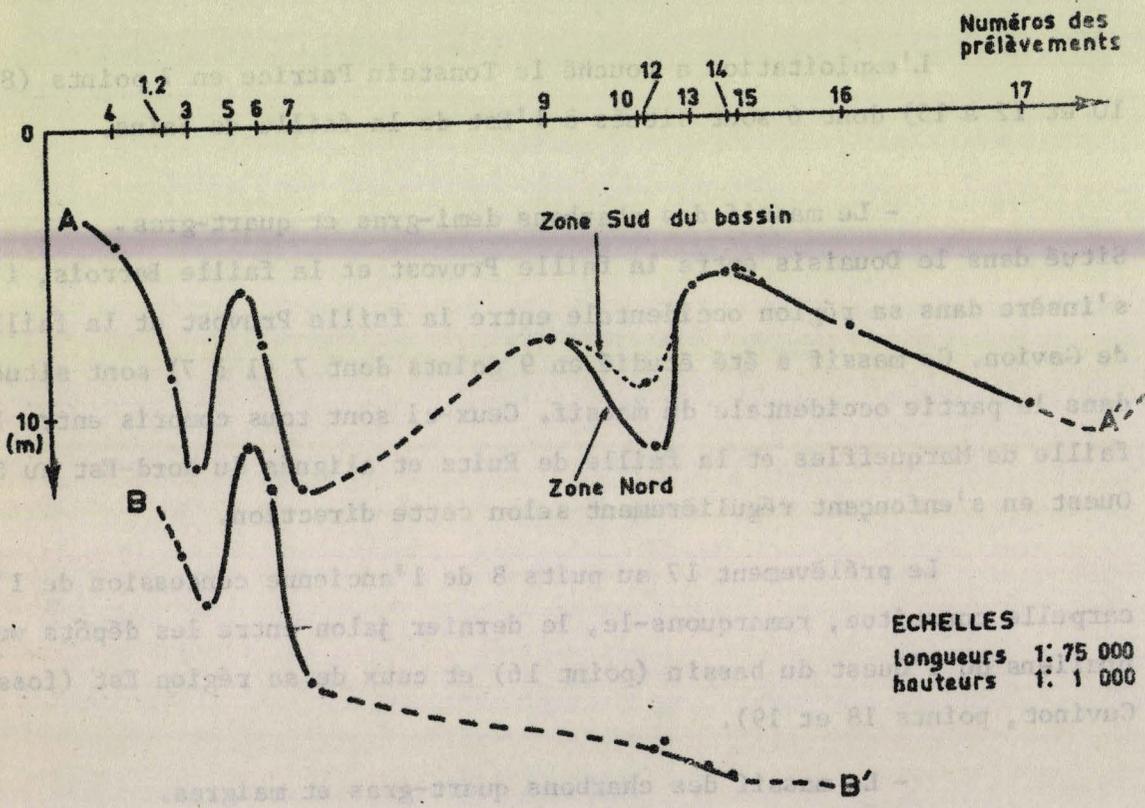


Fig. 2b. — COEFFICIENTS DE COMPACTION APPLIQUÉS.



Fig. 2. — POSITIONS SUCCESSIVES DU FOND DU BASSIN.
AA' LORS DU DÉPÔT DU TONSTEIN PATRICE
BB' " " " DE LA VEINE RUFINE-BIENVENUE.

En définitive, les 19 prélèvements dont j'ai pu disposer se répartissent de la manière suivante :

- 11 dans le massif de Courcelles-Wallers-Vicq ou massif des charbons demi-gras et quart-gras ,
- 7 dans le massif des charbons gras ,
- 1 dans le massif des charbons quart-gras et maigres.

Enfin, notons que sur un total de 19 prélèvements, 17 ont été réalisés dans la région occidentale du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. Les résultats des analyses pétrographiques m'ont incité à subdiviser la région occidentale du bassin en deux parties : une région occidentale (s.s.), allant du Vieux 2 de Marles (point 1) à la fosse 7 de Noeux (point 7) et une région centrale s'étendant de la fosse 13 de Noeux (point 8) à la fosse 8 de l'Escarpelle (point 17).

2. Le charbon dans son contexte pétrographique

Le tableau 2 montre la position stratigraphique des charbons étudiés au voisinage immédiat du Tonstein Patrice. Le Tonstein Patrice, rappelons-le, est un orthotonstein β et récemment A. Bouroz (1963 c) a montré que le dépôt de Tonstein de ce type est instantané. Il résulterait d'une activité volcanique assez intense (A. Bouroz, 1966 a) et l'origine du matériel cinéritique qui le constitue doit être recherchée à l'Est ou au Sud-Est de la Lorraine (Vosges ou Forêt Noire) ou peut-être un peu plus au Sud (A. Bouroz, 1967 a).

Par ailleurs, dans tous les points du Bassin où il a pu être observé, le Tonstein Patrice est inclus dans une veine de charbon (cf. tableau 2), sauf au point 10 où il est contenu dans du schiste fin.

A. Bouroz (1967b) a montré que cette "liaison apparente découle du fait que le temps de dépôt de ces éléments (charbon et schiste fin) représente un pourcentage très élevé du temps total de formation des bassins".

Sur le tableau 2, j'ai aussi figuré les corrélations certaines entre les différentes veines étudiées. Ainsi, de l'Ouest vers l'Est, on peut suivre la première veine au toit de Patrice. Elle prend selon les sièges successivement les noms de veine Rufine, 16ème veine, veine Elisabeth et veine Bienvenue. Certaines de ces corrélations ont été acquises ou confirmées grâce à des analyses palynologiques (J. Carette, 1962 ; S. Loboziak, 1963 et 1965 ; J.P. Laveine, 1965). Cette première veine correspond probablement à la veine Hyacinthe du Groupe de Lens-Liévin et à la veine Lazare (441 ⁽¹⁾) du Siège 21 Nord du Groupe d'Hénin-Liétard.

Au voisinage immédiat du Tonstein Patrice, les corrélations sont évidentes. La première veine située au mur du Tonstein Patrice est continue de l'Est à l'Ouest. On la nomme respectivement veine Rosalie, 17ème veine, veine Jeanne d'Arc, Veine Marcelline, veine Marthe, 1ère Veine du Nord, Veine Geneviève et Veine Louise. La correspondance entre la Veine Louise du Groupe de Douai et les passées 515 et 428 du Groupe de Valenciennes n'est pas facile à établir. En effet, tant que les horizons phytogènes sont constitués de charbons peu ou pas évolués, les méthodes d'études palynologiques sont applicables (J. Carette, J. Cayeux, J. Danzé, J.P. Laveine, A. Lemerrer et S. Vigreux, 1960), même à grande distance (B. Declercq-Lefebvre, 1965). Cependant, lorsque le rang des charbons est trop élevé, comme dans le groupe de Valenciennes, l'application des techniques palynologiques devient difficile. On recherche alors les spores contenues dans les stériles. Une telle méthode a déjà donné à l'Ouest du Bassin d'excellents résultats (R. Coquel, 1966).

En définitive, -- la veine contenant le Tonstein Patrice est corrélatée sur toute l'étendue du Bassin,

- la veine située au mur du Tonstein Patrice a pu être suivie d'Auchel-Bruay à Douai,

- et la veine située au toit du Tonstein Patrice a pu être prélevée d'Auchel-Bruay jusqu'au Siège 21 Nord du groupe d'Hénin-Liétard.

(1) 441. Ces chiffres renvoient au tableau 2 ou au répertoire des veines et passées de l'annexe.

Compte tenu de ces données, on peut suivre sur le tableau 2 de l'Ouest à l'Est du bassin les variations de la distance séparant le couple de veines Rufine-Rosalie ou leurs homologues. L'épaisseur des stériles reste pratiquement constante dans la région occidentale du bassin en oscillant aux environs de 40 m. Vers l'Est, et ceci est un phénomène d'ordre général (P. Pruvost, 1930), cette distance augmente peu à peu. La figure 2a tirée du tableau 2 montre deux positions successives du fond du bassin : en A A' lors du dépôt du Tonstein Patrice ; en B B' lors du dépôt de la veine Rufine-Bienvenue. Je n'ai pas tenu compte dans cette figure des phénomènes de compaction ayant affecté les dépôts stériles et les dépôts phytogènes. Je rappellerai que récemment A. Bouroz (1967b) a montré, en admettant un coefficient de compaction égal à 1 pour les grès et les grès schisteux, qu'il fallait attribuer un coefficient égal à 2 pour les schistes gréseux et les schistes grossiers, à 5 pour les schistes et à 12 pour le charbon. J'ai alors repris la fig. 2a en tenant compte cette fois des phénomènes de compaction. J'ai appliqué à chaque formation le coefficient qui lui est propre, du mur de la veine Rosalie à celui de la veine Rufine. La différence de valeur entre l'échelle des hauteurs (1 : 1000) et celle des longueurs (1 : 75 000 environ) entraîne bien évidemment une certaine distorsion dans la représentation du phénomène. Cependant, la figure 2a rend bien compte :

- de la pérennité, en certains points des groupes d'Auchel-Bruay et de Lens-Liévin, de zones subsidentes présentant des amplitudes sensiblement de même valeur,

- de la superposition au point 14 du groupe d'Hénin-Liétard de zones subsidentes présentant des amplitudes variables,

- de la diminution de l'amplitude de la subsidence du Nord vers le Sud dans la région orientale du Groupe de Lens-Liévin et dans la région occidentale du Groupe d'Hénin-Liétard,

- de l'augmentation de l'amplitude de la subsidence de l'Ouest vers l'Est (P. Pruvost, 1930).

La comparaison du tableau 2 et de la figure 2 montre encore que les zones les plus affaissées correspondent à des aires de dépôt de veines épaisses. Ainsi, la veine Rosalie (points 1, 2 et 3) dont la puissance oscille aux environs de 2 m (2,35 m au Siège 3 de Bruay) a dû se déposer dans une zone en creux. Par contre, au point 5, où le fond du bassin devait présenter un bombement, les veines 17 et 17 bis sont moins épaisses (0,45 m et 0,50 m).

Il est intéressant de noter aussi l'allure dichotomique de certaines veines ou passées. Ainsi, lorsqu'on se dirige du Puits 2 de Lens vers le Puits 12 de Lens, donc du Sud-Est vers le Nord-Ouest, les deux sillons qui constituent la première passée au mur du Tonstein Patriece (P 1 du tableau 2) s'éloignent l'un de l'autre. Ils forment, au 12 de Lens, la première veine du Nord d'une part et la veine Marthe d'autre part, alors séparées par 12 mètres de stériles. Cet aspect particulier atteste la sédimentation continue de la houille. A. Duparque (1949e) a estimé que l'interstratification de houilles et de schistes témoignait de l'identité des phénomènes de dépôt de ces sédiments.

Par ailleurs, on peut encore constater que la répartition des stériles, d'une apparente monotonie, n'est toutefois pas uniforme. J'ai précisé sur le tableau 2 la valeur des différentes séquences rencontrées au sein des roches stériles. Ainsi, le toit de chaque veine correspond à une séquence négative (S-), immédiatement surmontée (A. Bouroz, 1958) par une ou plusieurs séquences positives (S+). La corrélation de ces séquences entre elles n'est pas aisée. Cette superposition rythmique des stériles peut s'expliquer en appliquant la théorie de la biorhéxistase (H. Erhart, 1956). A. Bouroz (1964) a montré à propos de l'étude des schistes houillers qu'il fallait attribuer à la forêt bordière un effet de filtre extrêmement important. L'allure rythmique des dépôts peut en outre être le résultat d'une sédimentation pulsée (A. Bouroz, 1958), d'un affaissement dû à la compaction des sédiments et en particulier du charbon (P. Stassen, 1952 ; A. Bouroz, 1967b) aux divagations du réseau

hydrographique (1) (A. Bersier, 1958 ; G. Lienhardt, 1961 a et b ; P. Dollé, 1964) ou aux phénomènes de subsidence (P. Pruvost, 1930). En ce qui concerne ce dernier point, je dirai seulement que l'interprétation des mécanismes de détail varie selon les auteurs. Pour P. Pruvost (1930), la subsidence est discontinue. En 1958, A. Bouroz lui a substitué la notion de subsidence continue à *"vitesse variable sans accélération sensible autour d'une vitesse critique"*. Cette notion nouvelle s'inscrit bien dans les résultats acquis par les pétrographes. En effet, M. Th. Mackowsky (1955) a montré en s'appuyant sur les caractères des macéreaux que l'affaissement lent du bassin et l'accumulation des sédiments phytogènes étaient des phénomènes contemporains. Enfin, des remarques sédimentologiques ont récemment permis de montrer que parfois l'hypothèse d'une subsidence saccadée rend mieux compte de la nature des sédiments déposés et de leur répartition (J. Fabre, 1961). P. Deleau (1967) explique, dans le bassin houiller d'Abz'a, certaines dispositions à grande échelle par des *"mouvements épéirogéniques déterminés par le jeu de flexures entre le relief nourricier et la zone de sédimentation"*. N. Llopis Llado (1964) a récemment proposé un point de vue nouveau sur la cinématique marginale des bassins sédimentaires. A. Pastiels (1964) a mis en évidence des relations entre les mouvements affectant les bassins paludéens houillers et les modifications biotiques qu'ils provoquent.

Comme on peut le constater, les procédés de la nature pour élaborer le charbon et en préserver la conservation sont moins simples qu'on ne pouvait l'imaginer, et l'importance accordée à un argument plutôt qu'à un autre fait osciller la doctrine d'une hypothèse à l'autre.

3. Le cadre paléogéographique

La phase sudète de l'orogénèse hercynienne vient de faire surgir la cordillère de l'Europe moyenne. Celle-ci est reliée dans sa partie

(1) Ce réseau est parfois tenu pour responsable d'ablations (J. Haudour, 1964), ou d'érosion de dépôts phytogènes (G. Puibaraud, 1951 ; Ch. Adolion, R. Noël et P. Stassen, 1956) ayant parfois déjà subi une certaine diagénèse.

nord-ouest au Continent Nord-Atlantique. A l'Est, se dessine dans le prolongement de la mer de l'Oural, un golfe (golfe westphalo-russe) entre les Rhénides et le Continent Nord-Atlantique. Par ailleurs, la longue zone constituée par la barrière des Midlands, la Terre de Saint-Georges et le Brabant forme un relief qu'entourent les plaines marécageuses bordant les continents. L'avant-fosse molassique (J. Aubouin, 1961) est ainsi divisée en deux bassins dont le bassin houiller franco-belge représente la partie méridionale. La jonction avec la partie septentrionale s'établit dans le Limbourg hollandais au niveau de Maastricht à l'extrémité de l'fle brabançonne. Les lagunes devaient s'étaler largement au Nord et au Sud des limites actuelles du Bassin Houiller : les dépôts conservés dans les synclinaux de Seclin (P. Pruvost, 1937)- Merville (P. Pruvost, 1919) et de Combles-Barly (A. Bouroz, 1960 a) en sont le témoignage. Cette fraction de la dépression molassique est classiquement divisée en bassin de Namur et du Condroz au Nord et en bassin de Dinant au Sud. La limite sud du bassin de Dinant est constituée par l'anticlinal paléozoïque de Picardie relayé à l'Est par la zone anticlinale de l'Ardenne. La limite nord du bassin de Namur correspond à la Terre de Saint-Georges.

Au Namurien, les incursions de la mer russe sont encore nombreuses et affectent la quasi-totalité du domaine de la dépression molassique, mais au cours du Westphalien, les pulsations marines deviennent rares.

Au Westphalien A, le bassin de Dinant sera en majeure partie exondé sous les effets des premières manifestations de la phase asturienne. A la fin du Westphalien, le paroxysme asturien aura gagné le bassin de Namur. Dans le temps, la polarité orogénique se marque par un déplacement dans le sens de la poussée tangentielle sud-nord. Le bassin de Dinant chevauche alors le bassin de Namur le long de la grande faille du Midi, rupture locale du socle sialique (A. Beugnies, 1963) au niveau du Condroz. A. Beugnies admet qu'en Belgique, la largeur de la bande condrusienne devait atteindre plusieurs dizaines de kilomètres avant qu'elle ne soit affectée par un important charriage de plus de 30 km du Sud vers le Nord (P. Fourmarier, 1932).

Un certain nombre d'observations et en particulier l'étude des conglomérats (Ch. Barrois, 1901, 1907, 1908 a et b, 1910; Ch. Barrois, P. Bertrand et P. Pruvost, 1930) et celle de l'allure des failles par rapport aux couches qu'elles séparent, démontrent en effet, comme l'a fait remarquer P. Pruvost (1939) que subsidence et orogénèse sont des phénomènes connexes et contemporains.

Au Carbonifère supérieur se déposent des conglomérats sur le bord nord du synclinorium de Dinant et c'est au Permien inférieur que le bâti hercynien pénéplané se distend en se fracturant. A la tectonique tangentielle succède une tectonique cassante. Le jeu hercynien des failles épicrotacées d'une part et les coulées de Doullens (A. Bouroz, 1960 a) issues d'un magma simique (A. Beugnies, 1963) monté le long de certaines fractures d'autre part, en sont des illustrations.

III . LES PROBLEMES ABORDES

L'état actuel des connaissances sur les charbons ne pouvait progresser qu'en multipliant les observations et en utilisant des techniques d'étude modernisées.

Je me suis proposé dans ce travail de rechercher la nature originelle des dépôts et de préciser le rôle des différents facteurs responsables de leur diagénèse et de leur carbonification géochimique dont l'âge, la profondeur d'enfouissement et les efforts tectoniques peuvent être tenus pour responsables. J'ai employé pour cela les méthodes de comptage des macéraux, à immersion dans l'huile en lumière naturelle et quand cela était nécessaire en lumière polarisée, la mesure du rang des houilles par l'étude de leur microdureté et de leur pouvoir réflecteur.

Pour tenter de préciser davantage le rôle respectif qu'a pu jouer chacun des phénomènes mis en cause, je me suis attaché :

1) à définir avec précision la nature des dépôts indépendamment de leur degré d'évolution,

2) à résoudre les problèmes posés par la houillification un peu à la manière d'un système d'équations à plusieurs inconnues.

Ainsi j'ai étudié :

- a) des veines de même âge sur toute l'étendue du bassin,
- b) des veines de même âge présentant des anomalies de leur évolution géochimique en peu d'espace,
- c) des veines de même âge présentant un pendage si important que les prélèvements sont pratiquement superposés dans le gisement,
- d) des veines de même âge et de même faciès pétrographique ayant subi des enfouissements différents.

A la lumière des résultats obtenus grâce aux techniques modernes, cette sélection des paramètres m'a permis de dégager certaines causes des variations constatées dans les dépôts houillers.

CHAPITRE DEUXIEME

NOMENCLATURES ET METHODOLOGIE

I . NOMENCLATURES

1 . Choix d'une nomenclature

Le lexique international de pétrographie des charbons (C.I.P.C., 1963, 2e édition) présente quatre systèmes de nomenclature actuellement en vigueur dans le monde. Ce sont :

- le système Stopes-Heerlen employé en Europe,
- le système Thiessen-Bureau of Mines et
- le système W. Spackman, tous deux utilisés aux Etats-Unis,
- le système de l'Institut de Géologie de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S.

Ces systèmes se différencient selon les conditions d'observations préconisées (lames minces, surfaces polies ou lames minces polies), ou selon les paramètres directeurs utilisés.

Ainsi, le système de l'Institut de Géologie de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S., applicable aussi bien aux lignites qu'aux houilles, définit avant tout les caractères génétiques des combustibles. On y trouve, par exemple, des charbons de fusinito-posttélinite (1).

La définition des termes du système de nomenclature Thiessen-Bureau of Mines est le résultat d'examen des combustibles en lumière transmise.

(1) En 1967, au Congrès international de Pétrographie des Charbons à Sheffield, la sous-commission de nomenclature a présenté une classification des macéraux des charbons préconisée par les pétrographes de l'U.R.S.S., appelée système de Gost 9414-60.

Récemment, W. Spackman a préconisé un système où les "entités-types" (groupe des Exinoïdes par exemple) sont définies, non seulement par leur composition pétrographique (spores, pollens, matériaux cuticulaires ou endodermiques houillifiés) mais encore en tenant compte de la valeur de leur pouvoir réflecteur maximal dans l'huile.

Dans le système européen Stopes-Heerlen, les macéraux sont identifiés sur des surfaces polies examinées à immersion dans l'huile en lumière réfléchie naturelle ou polarisée.

C'est ce dernier système que j'ai adopté pour étudier les charbons du bassin du Nord et du Pas-de-Calais. On sait que dans ce système on distingue :

- Les dix macéraux suivants :

1. Collinite (Co) ⁽¹⁾	}	Vitrinite (V)
2. Télinite (Te)		
3. Sporinite (Sp)	}	Exinite ou (E) Liptinite
4. Cutinite (Ct)		
5. Alginite		
6. Résinite (Re)		
7. Micrinite (fine (Mf) massive (Mm))	}	Inertinite (I)
8. Sclérotinite (Sc)		
9. Semifusinite (Sf)		
10. Fusinite (F)		

Dans la nomenclature simplifiée, à usage technique, les macéraux sont réunis en groupes : Vitrinite (V), Exinite (E) et Inertinite (I). Je n'ai pas rencontré d'alginate dans les charbons que j'ai étudiés et de ce fait, sur les histogrammes représentant la composition des veines je

(1) J'ai reporté ces abréviations sous chacune des colonnes composant les histogrammes afin de faciliter la lecture de ces derniers.

n'ai pas réservé de colonne pour ce macéral. Par contre, en raison des différences d'aspect et de mode de gisement entre la micrinite fine et la micrinite massive, j'ai séparé sur les histogrammes ces deux composants.

- 8 termes désignant les associations de macéraux, d'épaisseur minimale fixée à 50 microns ou microlithotypes :

Vitrite (V)
Liptite (E)
Fusite (I sauf la micrinite)
Clarite (V + E)
Durite (I + E)
Vitrinertite (V + I)
Duroclarite (V + E + I)
Clarodurite (I + E + V)

Les microlithotypes sont caractérisés par des teneurs en macéraux fixées conventionnellement. Les mêmes microlithotypes présentent toujours un comportement technologique semblable et à ce titre, leur étude rend des services à l'industrie. Par contre, l'utilisation de ces termes (macéraux et microlithotypes) dans les recherches sédimentologiques appelle un certain nombre de remarques.

2 . Remarques préliminaires

A - L'analyse des microlithotypes

L'examen d'une collection d'échantillons se traduit inmanquablement par le souci d'en établir une classification. Or, un microlithotype correspond déjà à un type de charbon, et utiliser ces termes revient, a priori, à s'enfermer dans un système artificiel certes pratique mais peut-être en désaccord avec les résultats des phénomènes naturels.

Cependant, c'est dans l'étude sédimentologique fine d'une veine de houille que l'utilisation des microlithotypes peut, théoriquement, être la plus intéressante. En effet, si l'on dispose d'un pilier complet d'une veine de houille - nous verrons plus loin que l'opération n'est pas

simple - il est facile d'imaginer que l'on peut en observer la structure complète du mur au toit. Or, en adoptant une échelle raisonnable (5 mm pour 50 microns) pour la représentation des résultats on obtient un profil de 100 m de long correspondant à une veine de 1 m d'épaisseur. Dans ces conditions, on est conduit à regrouper des lits en juxtaposant des microlithotypes qui sont naturellement superposés. On divise alors arbitrairement la veine en bandes horizontales de hauteur uniforme (C. Abramski M. Th. Mackowsky, W. Mantel et E. Stach, 1951) ou en zones de même faciès d'épaisseur variable dont la délimitation reste subjective (R. Noël, 1956a). En pratiquant de cette manière, la composition exacte du dépôt est totalement masquée. Enfin cette façon de procéder implique que l'on peut disposer dans tous les cas d'un pilier complet de charbon. Les difficultés de prélèvement résultant d'une grande diversité de la cohésion des houilles étudiées font aussi que j'ai préféré l'analyse macérale à celle des microlithotypes. Bien entendu, il est possible de procéder à des analyses quantitatives de microlithotypes sur des échantillons en grains. Mais ce type d'analyse, surtout utilisé dans l'industrie présente *"un caractère plus conventionnel que l'analyse macérale"* (C.I.P. C., 1963). Ainsi en fonction de son environnement, la collinite voit ses propriétés technologiques varier. C'est pourquoi, au Congrès International de Sheffield, la Commission des Analyses a préconisé d'effectuer un certain nombre de distinctions lors des comptages de microlithotypes sur des échantillons en grains. Désormais, on compte à part la vitrinite provenant de lits purs (vitrite) et la vitrinite isolée, et on sépare ainsi la vitrinite d'une clarite de celle d'une vitrinertite ou d'une trimacérite ou d'une vitrite. Et pourtant génétiquement, il s'agit bien évidemment toujours de matériels analogues.

De plus, en raison de la définition arbitraire des microlithotypes, la précision des résultats obtenus selon cette méthode est plus faible que celle d'une analyse macérale. Au terme d'une analyse de microlithotypes, la nature exacte de l'inertinite d'une vitrinertite, par exemple, demeure inconnue.

Enfin, l'appréciation des pourcentages en microlithotypes, grâce à l'utilisation d'un micromètre oculaire ou à celle d'un oculaire à 20 points conduisent à des résultats différents.

Pour toutes ces raisons, j'ai étudié les charbons du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais à l'aide des méthodes de l'analyse macérale dont je n'ai pas manqué de vérifier le principe.

B - La reconnaissance des macéraux et des minéraux

Le terme macéral désigne "*les constituants microscopiques élémentaires des charbons, par analogie avec les minéraux des roches*" (C.I.P.C., 1963). Cependant, contrairement aux minéraux, les macéraux sont des composants dont les caractères sont éminemment variables et dont l'aspect sous le microscope coïncide très rarement avec les figurations du lexique international de pétrographie des charbons. C'est pourquoi leur reconnaissance appelle quelques remarques importantes.

Les combustibles que j'ai examinés sont, pour la plupart, des charbons peu évolués. Ils constituent donc un matériel de choix pour discerner les macéraux à leur état le moins transformé.

1. Collinite (Co) (Pl. 1, fig. 1). Elle représente le ciment organique de tous les autres macéraux. C'est par essence, le seul macéral ne présentant pas de structure organisée visible au microscope optique, même en lames minces. "*Elle possède le caractère amorphe des substances colloïdales typiques*" (A. Duparque, 1933 et 1949 c et g).

J'ai très souvent observé des lits, constitués par le mélange de ciment et d'une grande quantité de très petits débris, que B. Alpern (1964) a proposé de nommer hétérocollinite. Cet auteur a été amené à subdiviser la collinite en homocollinite et en hétérocollinite car l'examen au microscope électronique (B. Alpern et S. Prégermain, 1956) a montré que la première est lisse et la seconde granulaire. De plus, l'étude par autoradiographie de charbons activés à la pile atomique (B. Alpern et A. Queson, 1956) a révélé la présence de cendres intrinsèques et de minéraux

dans l'hétérocollinite. Enfin, le pouvoir réflecteur de l'hétérocollinite est moins élevé que celui de l'homocollinite.

Tous ces faits montrent sans équivoque que nous sommes là en présence de deux substances fondamentalement différentes. L'homocollinite représente une matière unique homogène et originellement amorphe. Au contraire, l'hétérocollinite est un mélange et à cause de cela on ne peut la considérer comme un macéral. Il s'agirait plutôt d'un "carbo-minéral" ou au minimum d'un bimacéral. Si technologiquement elle a ses raisons d'exister au même titre que les vitrinites A et B définies par H.R. Brown, A.C. Cook et G.H. Taylor en 1964, il est cependant difficile de la ranger parmi les macéraux.

La collinite peut encore présenter un autre aspect. Souvent des fissures de retrait sont colmatées par un ciment homogène dont le pouvoir réflecteur est plus grand que celui des lits de collinite environnants. Ces dépôts particuliers sont limités à des surfaces très faibles de l'ordre de quelques mm². Cette collinite représente donc sans ambiguïté des solutions colloïdales oxydées formées postérieurement à la diagénèse à partir de collinite préexistante. Ce serait un ciment secondaire parfois appelé mobicollinite.

2. Télinite (Te) (Pl. 1, fig. 2, 3 et 4)

Par définition, la télinite désigne "*les membranes des cellules visibles dans la vitrinite*" et présentant des propriétés technologiques voisines de celles de la collinite. Cependant, la structure cellulaire en fait un composant fondamentalement différent de la collinite.

J'ai souvent observé dans les charbons du bassin du Nord et du Pas-de-Calais des structures s'apparentant à la pseudovitrinite définie par R. Thompson aux Congrès de Madrid (1966) ⁽¹⁾ et de Sheffield (1967) ⁽¹⁾. Certains charbons peu évolués montrent en effet des plages formées de composants apparemment sans structure ayant un pouvoir réflecteur plus

(1) Communications orales.

grand que la collinite voisine, des plages présentant des structures cellulaires peu nettes et enfin des surfaces de teinte claire montrant une fracturation ou une fissuration inhabituelle. Ces plages ont un relief et une microdureté plus élevés que ceux de la collinite voisine. Pour R. Thompson, la pseudovitrinite se comporte technologiquement comme une matière plus inerte que la collinite correspondante. J'ai rangé les composants présentant ces aspects particuliers, dus vraisemblablement à une oxydation de tissus ligneux, dans la semifusinite.

3. Sporinite (Sp) (Pl. 2, fig 1, 2 et 3)

La reconnaissance de la sporinite dans les charbons peu évolués ne pose pas de problèmes. En revanche, quand le rang augmente, des difficultés apparaissent. Du point de vue sédimentologique, j'ai souvent observé des lits composés d'un nombre considérable de microspores toujours séparées les unes des autres par la collinite. De plus, dans un même charbon, des spores présentant des degrés d'évolution différents sont parfois juxtaposées. Cela montre que, dans ce cas, les spores claires avaient acquis un certain rang avant leur sédimentation.

4. Cutinite (Ct) (Pl. 3, fig. 1 et 2)

Faciles à déceler, les cuticules ont des caractères morphologiques fort variés et leur accumulation avec les spores a conduit A. Duparque à créer un type de charbon dit "de cutine" (A. Duparque, 1927 a et 1933, A. Duparque et M. Maret, 1936). Par ailleurs, l'aspect présenté par leur contenu offre un certain intérêt. En effet, l'espace compris entre cuticule supérieure et cuticule inférieure, ces deux termes étant pris dans le sens défini par A. Duparque (1933), montre souvent une substance diffuse grisâtre que l'on a coutume de ranger dans la résinite. Parfois aussi, dans cet espace, les restes d'une nervure axiale flottant dans une pâte amorphe sont encore visibles. Cela est une preuve incontestable que, dans ce cas, la compaction a été quasiment nulle d'une part et que la gélification du parenchyme interne de la feuille a été totale d'autre part. Le processus de gélification des parois cellulaires, s'opérant de manière centrifuge ou de manière centripète, s'est parfois accompagné d'apports

extérieurs dont la présence de résinite constitue un témoignage.

Signalons enfin que l'étude systématique des variations du pouvoir réflecteur des cutinites permet dans certains cas de conclure à la corrélation stratigraphique de veines prélevées en des endroits peu éloignés les uns des autres (E. Schneider, 1965 a et b).

5. Résinite (Re) (Pl. 3, fig. 3)

La résinite peut être considérée comme un composant accessoire des houilles. Elle apparaît généralement, comme nous venons de le voir, en remplissage des lumières des cuticules, des cellules des tissus ligneux télinitiques ou des fissures. Cependant, excepté les nombreux autres aspects qu'elle peut offrir et qu'A. Duparque a figurés en 1927 (b) et en 1933, on a souvent rangé à tort certains corpuscules ovales sous cette dénomination (A. Duparque, 1927 c). En effet, ces corpuscules représentent souvent de véritables galets mous de houille dans lesquels on discerne parfois une stratification. La diversité de leurs formes et les différences de relief et de pouvoir réflecteur que leur étude minutieuse permet de déceler attestent une pluralité de leur origine. Dans ces conditions, c'est avec beaucoup de circonspection que le rattachement de ces globules à tel ou tel macéral doit être fait.

J'ai encore pu observer des corpuscules ou des bandelettes présentant une zone externe claire et une zone interne plus foncée. Dans ce cas, l'origine résineuse du matériel est indiscutable et cette zonation est due à une polymérisation superficielle. Dans d'autres cas, d'après E. Stach (1966), la résinite peut passer à la vitrinite et même à la fusinite (sclérotinite). Cet auteur en fait alors une "résinite-sclérotinite". Je n'ai jamais observé les termes de passage entre ces deux macéraux. Par contre, j'ai souvent remarqué des globules montrant à leur surface des lignes sinueuses ou rectilignes plus ou moins profondes représentant pour A. Duparque (1933) les vestiges des membranes cellulaires et pour E. Stach (1966) des fissures de retrait. Celles-ci auraient été transformées en

fissures d'altération atmosphérique par l'humidité, l'oxydation et l'activité bactérienne.

6. Micrinite

Micrinite fine (Mf) (Pl. 3, fig. 1 et 3 ; Pl. 4, fig. 1 et 2)

La détermination de la micrinite fine par l'observation à immersion dans l'huile est aisée. Sa localisation dans le lumen des cellules de tissus ligneux télinitiques en souligne, par le moulage interne qu'elle réalise, les limites parfois imprécises. On la trouve aussi intimement mêlée aux lits constitués de fines particules argileuses. Elle apparaît également très souvent en compagnie des spores et principalement des microspores autour desquelles elle est accumulée.

Si la reconnaissance de ce macéral ne présente pas de difficultés, le problème de son origine a intéressé tous les pétrographes houillers. Ainsi, récemment, B. Alpern et S. Prégermain (1965) ont étudié ce matériel au microscope électronique. Ceci leur a permis d'apporter des précisions sur la forme et les dimensions des grains qui la constituent. Les nombreuses observations qui en ont été faites laissent apparaître une pluralité d'origine. En 1932 et 1935, E. Stach avait déjà remarqué la présence de granulations opaques (Opakkörnchen) au voisinage des microspores. Récemment il a précisé cette observation (E. Stach, 1964) en mentionnant que les petits grains s'accumulent en formant des sortes de flocons. Il fait remarquer à juste titre que la micrinite fine n'apparaît pas sur les autres types d'exine et il en déduit que son origine est à rechercher dans les microspores elles-mêmes. Le contenu protoplasmique aurait été chassé hors de l'exine à la suite d'un écrasement résultant d'un enfouissement rapide. Il estime que cette condition est nécessaire car si le phénomène est trop lent, le contenu protoplasmique disparaît avant la sédimentation.

Cette hypothèse appelle quelques remarques. Les spores présentent toujours un aplatissement dû plus à un affaissement de leur exine au cours des mécanismes de dépôt qu'à un écrasement postérieur à leur

sédimentation. De plus, les lits présentant des accumulations d'un nombre considérable de microspores sont caractérisés par le fait que ces dernières sont très rarement jointives et que le ciment qui les réunit est presque toujours exempt de micrinite fine. Il est pourtant vraisemblable que, dans ce cas particulier, le ciment provient du contenu protoplasmique expulsé de l'exine des microspores. De plus, il n'est pas rare d'observer dans les charbons des microsporanges. Ceux-ci ne contiennent jamais de micrinite fine. Certains lits de clarite contiennent des microspores dispersées dans la collinite sans présenter le moindre grain de micrinite fine. En outre, dans les lits de durite, presque toujours essentiellement composés de microspores empilées les unes sur les autres et de micrinite massive, la micrinite fine est quasiment absente. Pour toutes ces raisons, on peut penser que l'apparition simultanée de la sporinite et de la micrinite fine n'est pas un phénomène général. De ce fait, l'origine de la micrinite fine ne doit pas être recherchée dans les contenus protoplasmiques des spores. Il semble plutôt que la réunion de ces deux composants est purement fortuite. Elle résulte de la présence simultanée de ces matériels au même endroit et leur agglutination relèverait de phénomènes de tension superficielle à la surface des spores. J'ai pu observer des cuticules totalement entourées de micrinite fine et là aussi cette propriété physique particulière aurait prévalu. Quand ces deux macéraux sont dispersés, ils se sédimentent évidemment chacun pour leur propre compte. Les lits de micrinite fine et ceux de microspores isolées ne sont pas exceptionnels. De plus, l'absence de micrinite fine dans la presque totalité des spores montre qu'il n'y a pas de lien génétique entre ces deux composants.

Par ailleurs, il faut noter que la micrinite fine, lorsqu'elle est assez abondante est toujours associée à des dépôts constitués de matériaux très petits appartenant au groupe de l'exinite. Il est intéressant de constater qu'elle est très rarement associée au matériel ligneux peu évolué. C'est probablement parce qu'elle représente un état particulier de la fossilisation, dans certaines conditions, de ce matériel ligneux.

Quand les tissus ligneux sont très évolués et que leur substance tend à se confondre chimiquement avec celle de la pâte fondamentale, l'association télinite-micrinite fine peut se produire.

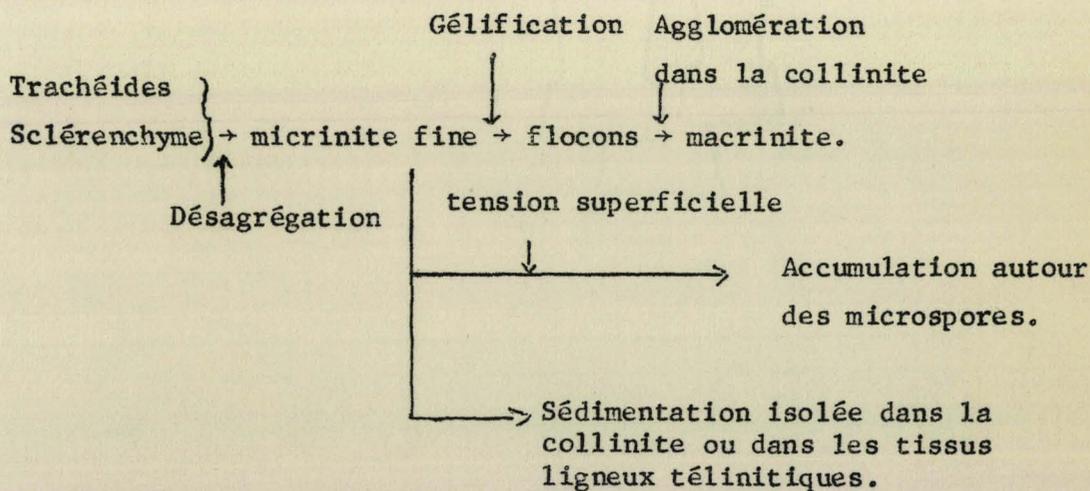
La relation génétique entre la micrinite fine et le contenu des microspores n'ayant pas un caractère absolu, il ne demeure pas moins vrai que la micrinite fine peut, dans certains cas, présenter une altération chimique conduisant à la formation de flocons. Mais je pense que la distinction morphographique récemment faite entre la macrinite et la micrinite (E. Stach et B. Alpern, 1966) peut trouver son explication dans les faits suivants : il est incontestable que la macrinite représente un état avancé de la floculation de la micrinite. Elle résulterait de la coalescence des flocons issus d'une véritable gélification de la micrinite fine. Ce phénomène s'accompagnant d'une augmentation de volume affecte la collinite environnante et l'ensemble prend un aspect grisâtre intermédiaire entre celui de la collinite et la teinte de la micrinite fine. C'est cet aspect particulier qui a été désigné sous le nom de macrinite.

Enfin si l'on admet que la micrinite fine représente les restes de corps figurés originellement contenus dans le protoplasme des microspores, l'identité de composition du matériel protoplasmique dans le règne végétal conduit naturellement à penser que ce composant devait aussi exister dans les cellules du bois. Or, si elle est quelquefois présente dans la télinite, je ne l'ai jamais observée, rappelons-le, dans les tissus ligneux, qu'il s'agisse de fusinite ou de semifusinite. Par ailleurs si l'on admet, comme l'a montré A. Duparque (1933), que la substance fondamentale des houilles provient en majeure partie des contenus protoplasmiques des cellules, celle-là devrait présenter une quantité beaucoup plus importante de micrinite fine répartie de manière plus uniforme. Or il n'en est rien.

Par contre, A. Duparque insiste sur l'extrême division qui peut affecter les débris végétaux et en particulier les débris ligneux. Cet amenuisement et ce morcellement conduisent à de véritables pulpes

végétales (A. Duparque et J. Massinon, 1939). R. Thiessen et G.C. Sprunk (1936), P. A. Hacquebard (1952) et H.S. Pareek (1964) voient l'origine de "l'opaque matter" et de la micrinite fine dans la pulvérisation des membranes secondaires des trachéides (cf. Pl. 7, fig.3). Dans une publication récente (Ch. Delattre et E. Mériaux, 1966) nous avons décrit et figuré un aspect particulier de la micrinite fine conservée dans un filet charbonneux inclus dans un Tonstein. Les fragments de tissu végétal observés, noyés dans la collinite, présentaient des cellules qui par leur forme, leur dimension et l'épaisseur de leur paroi ont été rapportées à du sclérenchyme. L'aspect granuleux et ponctué de ce matériel est incontestablement dû à une désagrégation du tissu. L'émiettement de l'extrémité du fragment de sclérenchyme conduit à la formation d'une poussière ayant les caractères de la micrinite fine. Quand ils sont conservés, les lumens isolés des cellules restent entourés de granules de micrinite fine et dans ce cas, on peut les confondre avec des microspores désagrégées.

A la lumière de toutes ces observations, on peut admettre que la genèse de la micrinite fine et sa répartition dans les charbons s'opèrent de la façon suivante :



-Micrinite massive (Mm) (Pl. 2, fig. 1)

La micrinite massive est constituée de fragments résultant indiscutablement du morcellement de tissu ligneux fusinitique et plus rarement semifusinitique. J'ai souvent observé dans les charbons du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais de très petits fragments circulaires de taille supérieure à celle de la micrinite fine et moins bien calibrés que celle-ci. Je pense que ces débris présentant les caractères physiques des tissus ligneux, proviennent de la désagrégation mécanique des membranes secondaires des trachéides dont on peut voir un aspect bien conservé sur la figure 3 de la planche 7. Le gisement de ce macéral est souvent lié à celui des microspores et, avec elles, il constitue des lits de durite. Toutefois, en raison de l'aspect émousé qu'ils présentent, certains fragments de micrinite massive se différencient des corps étoilés encore en relation avec les tissus ligneux dont ils dérivent. Cela atteste incontestablement un transport, probablement peu important. De plus, il n'est pas rare de constater que certains corpuscules présentent des tailles supérieures à celles des membranes cellulaires des tissus ligneux. Il faut admettre, dans ces conditions, ou bien que ces fragments de micrinite massive ont subi une gélification au cours de leur transport, ou bien que celle-ci était acquise avant leur désagrégation. Cette deuxième hypothèse est peu vraisemblable car l'observation montre que les tissus gélifiés ne présentent jamais le morcellement caractéristique de la plupart des tissus ligneux non gélifiés.

Les différences de pouvoir réflecteur que j'ai pu noter lors de l'étude de la micrinite massive rendent bien compte de divers états physiques atteints par ces fragments au cours des mécanismes de dépôts.

Dans certains cas particuliers, les mégaspores présentent un remplissage de matériel organique composé de micrinite fine et massive et de microspores (J.G. Prado, 1963). Cette accumulation à l'intérieur des mégaspores est différenciée en deux zones : une zone inférieure riche en micrinite massive, une zone supérieure riche en microspores. La ligne de séparation entre ces deux zones est parallèle à la stratification. Ce

classement du matériel organique implique des conditions de sédimentation lente permettant une séparation par densité. Lorsque l'on a la chance d'observer des minéraux tels que le quartz ou l'argile dans les mégaspores, il s'établit là aussi un granoclassement. Cela montre bien que la séparation par densité entre le matériel exinitique et le matériel inertinitique n'est pas une vue de l'esprit mais correspond bien à la réalité. A ce sujet, il est intéressant de noter que bien avant de se déposer ces différences de densité existaient. Pour cette raison, l'agglutination de la micrinite fine autour des microspores, c'est-à-dire de matériaux de densité différente, relève bien de phénomènes de tensions superficielles.

7. Sclérotinite (Sc) (Pl. 4, fig. 3 et 4 ; Pl. 5, fig.2)

Le terme sclérotinite créé par E. Stach (1951) est employé pour désigner tous les corpuscules durs présentant donc sur les surfaces polies un fort relief et un pouvoir réflecteur important. Comme ce nom l'indique on admet qu'il s'agit souvent de sclérotites de champignons. Plusieurs auteurs et notamment Ch. Delattre et A. Duparque (1954 a et b) ont précisé les caractères exacts des sclérotites, des spores de champignons et des faux tissus de champignons des houilles paléozoïques. En 1956 (a, b, c, d, e et f) A. Duparque et F. Morand-Judas étudiant la répartition des sclérotites et des corpuscules sclérotiformes dans les veines de houille du Nord et du Pas-de-Calais ont montré que ces corps avaient une pluralité d'origine. Ces corps durs ont été très souvent figurés (E. Stach et W. Pickhardt, 1957 ; K. Benès et J. Kraussova, 1964) et en 1954, W. Pickhardt a proposé une classification préliminaire des corps rapportés à de véritables sclérotites de champignons comprenant 8 genres principaux. En 1956, E. Stach (1956 a) a montré l'importance de la sclérotinite pour l'origine de la durite. Signalons enfin que ces corpuscules technologiquement inertes, quelquefois relativement fréquents dans les houilles, représentent, en raison de leur petite taille, un très faible pourcentage par rapport aux autres macéraux.

8. Fusinite (F) (Pl. 6, fig. 2 et 3 ; Pl. 7, fig. 2 et 3)

Ce macéral désigne les restes des tissus ligneux sans distinction d'origine (Sclérenchyme, fibres sclérifiées ou tissu ligneux vasculaire) présentant leurs caractères morphologiques originels ou des aspects résultant d'actions mécaniques cassantes (structure étoilée, ou empilement de fragments brisés). Le pouvoir réflecteur de la fusinite est toujours important et, en lumière réfléchie à immersion dans l'huile, la couleur de ce macéral oscille du blanc franc au blanc jaunâtre. En raison de l'orientation quelconque des dépôts ligneux dans les échantillons observés, du morcellement et de l'émiettement qu'ils ont subis, ces tissus présentent des caractères polymorphes qu'A. Duparque (1933) a abondamment figurés et sur lesquels je n'insisterai pas. En ce qui concerne les houilles du bassin du Nord et du Pas-de-Calais, cet auteur (1926 a et b, 1929 et 1932) a précisé l'origine, la composition chimique et le rôle des tissus ligneux dans la genèse de ces combustibles solides.

9. Semifusinite (Sf) (Pl. 5, fig. 1,2 ; Pl. 6, fig. 1 ; Pl. 7 fig. 1)

Le terme semifusinite désigne des tissus ligneux gélifiés. Ceux-ci apparaissent toujours avec une teinte plus grise et un relief plus faible que ceux de la fusinite. Le polymorphisme de la fusinite se retrouve chez la semifusinite. C'est le processus de gélification affectant ces tissus qui retiendra particulièrement notre attention.

L'examen des nombreuses analyses quantitatives dont les résultats sont consignés en annexe, montre clairement une association permanente de la fusinite et de la semifusinite dans tous les combustibles observés. On peut penser que certains phénomènes antérieurs à la sédimentation aient pu intervenir dans cette différenciation.

Par ailleurs, cette gélification peut présenter des aspects et des degrés divers. En effet, certains tissus montrent une gélification centrifuge alors que le processus dont sont affectés d'autres fragments est centripète. Il est indéniable qu'une gélification très poussée de ces tissus antérieurement à leur dépôt a pu conduire à une transformation

chimique complète de la substance ligneuse conduisant alors à une vitrinite amorphe. L'observation minutieuse de charbons peu évolués montre que, même dans les cas de tissus fortement transformés, les limites des lames ligneuses sont toujours décelables. Ces limites s'estompent bien évidemment quand le rang des charbons augmente ce qui a conduit certains auteurs à penser que la semifusinite évoluait alors vers la collinite. En réalité, cette interprétation est en contradiction avec l'observation en lumière polarisée de tissus ligneux à contours nets dans les anthracites les plus évolués (A. Duparque 1949 a, b, d et f ; E. Mériaux, 1967). Quand on observe des houilles de rang de plus en plus élevé, il y a, à la suite de l'évolution géochimique, des modifications des caractères acquis antérieurement que la lumière polarisée restitue au moins partiellement.

L'aspect des tissus ligneux altérés montre clairement que le processus de la gélification est véritablement complexe. C'est ainsi que certaines cellules gélifiées ont, semble-t-il, conservé l'épaisseur originelle de leur paroi, alors que pour d'autres la gélification a entraîné un épaississement quelquefois considérable des membranes. Le terme ultime atteint par ce dernier processus est une substance apparemment amorphe dont le caractère organisé n'est quelquefois plus décelable que par les substances originellement contenues dans les lumières des cellules. Ainsi la micrinite fine et les particules argileuses, disposées en minces filets discontinus ayant une longueur du même ordre de grandeur que celle d'une cellule végétale aplatie, sont les témoins morphographiques de l'organisation tissulaire primitive. Par ailleurs, la valeur du pouvoir réflecteur est plus élevée sur de telles substances secondairement amorphes que sur la collinite environnante. Cette obturation des lumières des cellules relève, semble-t-il, de deux phénomènes bien distincts :

- ou bien il y a eu un apport extérieur de matières sous forme de solutions colloïdales. Dans le cas des charbons, le matériel nourricier a par essence une composition complexe différente de celle du tissu ligneux auquel il viendrait s'adjoindre. Dans ces conditions on devrait pouvoir observer les limites entre le matériel originel et l'apport. En réalité, il y a continuité qui bien sûr peut être due au mélange intime des deux substances,

- ou bien il se produit une autodestruction des lumières des cellules végétales. Dans ce cas, il faut imaginer que la cellule produit elle-même un gel provoquant le gonflement des parois et du même coup leur obstruction en maintenant quelquefois prisonnières les substances, micritite ou argile, qui s'y trouvaient originellement. Parfois la gélification est si parfaite qu'il est difficile de déceler au premier coup d'oeil la nature du macéral observé. S'il subsistait des restes de lumen, vides ou remplis de minéraux tels que des carbonates, pyrite ou argile, le rattachement à la semifusinite est aisé. Cependant, quand les lumens sont complètement disparus, la surface polie est chagrinée et en modifiant l'incidence du faisceau lumineux on accentue ces caractères. Enfin dans les charbons peu évolués que j'ai étudiés, quand la surface observée est totalement lisse et présente un pouvoir réflecteur plus élevé que celui de la collinite environnante, j'ai rangé ces lits dans la semifusinite. Je précise que j'ai agi dans ce sens en tenant compte de l'environnement des plages étudiées donc de leur faciès. Dans ce cas particulier fort heureusement rare, j'ai surtout minutieusement observé la disposition des éléments figurés les plus fins. Dans les lits de collinite vraie, leur stratification continue témoigne de la nature amorphe du gel qui les contient alors que leur disposition en amas réguliers mais discontinus révèle une organisation cellulaire aujourd'hui disparue.

Dans le cas extrême où les plages apparemment amorphes ne présentent pas trace de macéraux ou de minéraux et sont donc aisément confondues avec des lits de collinite, j'ai toujours tenté d'en déterminer les contours pour déceler leur véritable nature.

J'ai bien entendu commis des erreurs de détermination. Cependant, les houilles que j'ai été amené à étudier sont, rappelons-le, peu évoluées et les précautions multiples que j'ai prises font que je pense avoir réduit les erreurs à des pourcentages infimes.

En définitive, les seuls écarts de mesure n'affectent que la collinite et la semifusinite.

10. Matières minérales (M)

J'ai systématiquement repéré la nature des matières minérales rencontrées dans les houilles du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Cependant, en raison de la rareté des pyrites et des carbonates par rapport aux matières argileuses, j'ai été amené à regrouper dans les histogrammes les matières minérales dans une seule colonne.

C - Les renseignements complémentaires

J'ai complété le travail purement pétrographique par l'analyse de certains caractères physiques et chimiques des houilles. En effet, le laboratoire central de contrôle du Groupe d'Hénin-Liétard ainsi que les laboratoires des différents groupes d'exploitation du Bassin m'ont fourni pour chaque échantillon la teneur en cendres (C), en matières volatiles (M.V.) et son indice de gonflement (I.G). Enfin, j'ai procédé, sur chacun d'eux, à la mesure systématique du pouvoir réflecteur et, dans le cas des veines Jeanne inférieure, Emilie et de celles rencontrées dans le sondage Loos 5 du Groupe de Lens-Liévin, j'ai noté la valeur de la microdureté Vickers (H.V) de la collinite.

II - METHODOLOGIE

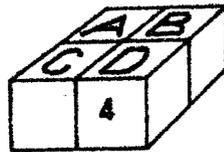
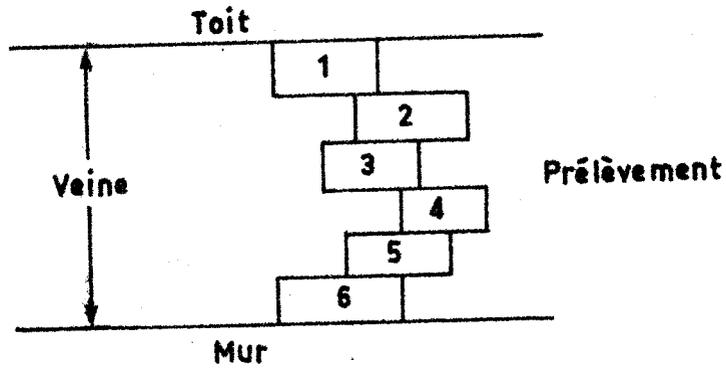
J'exposerai dans ce paragraphe les méthodes utilisées pour le prélèvement des échantillons et leur préparation en vue de l'étude de leurs caractères pétrographiques, physiques et chimiques.

1 . Le mode de prélèvement

Je rappelle que les prélèvements ont été effectués au voisinage immédiat du Tonstein Patrice. Ce repère a permis de synchroniser rigoureusement les différentes observations. Il fallut tout d'abord tenir compte des impératifs techniques inhérents aux travaux miniers et de l'état d'avancement des chantiers dans les différents groupes d'exploitation. Guidé et efficacement aidé dans ma tâche par MM. F. Legrand et L. Dussart, Ingénieurs-Géomètres au Service Géologique central, j'ai prélevé les veines et passées à tous les endroits du bassin présentant l'horizon du Tonstein Patrice et au voisinage immédiat de celui-ci.

Le meilleur procédé d'échantillonnage consiste à effectuer le prélèvement d'un pilier prismatique complet de chaque veine et de chaque passée, d'un seul tenant, selon une verticale, du mur au toit perpendiculairement à la stratification. A cet effet, R. Noël (1956 a) a préconisé une technique de préparation des piliers de charbon même friable en vue de leur prélèvement. Cette méthode permet en outre d'assurer leur protection lors du transport, facilite leur étude pétrologique au laboratoire et favorise leur stockage prolongé. Ce procédé particulièrement élaboré n'est pas toujours aussi aisé à utiliser qu'on le montre parfois (C.E. Marshall, J.A. Harrison, J.A. Simon et M.A. Parker, 1958, pl. I, p. 22). C'est pourquoi je me suis attaché à une technique peut être plus rudimentaire mais assurément mieux adaptée aux différentes conditions d'échantillonnage et à leur grand nombre.

En effet, la structure, la schistosité, la friabilité et surtout l'accessibilité du combustible ne permettent pas toujours d'obtenir des fragments exactement superposés reconstituant un véritable pilier.



Débitage

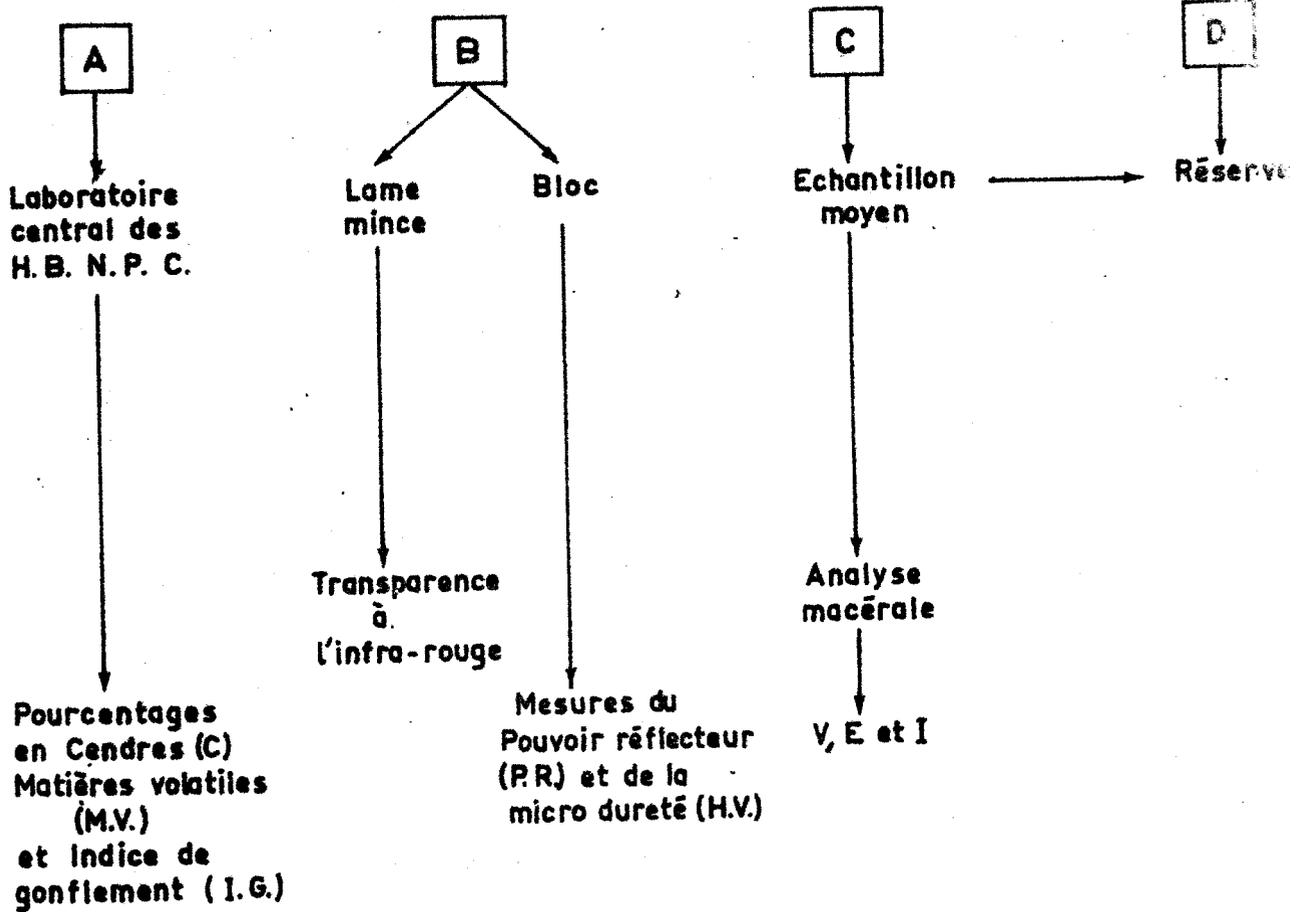



Fig. 3. —

MODE DE PRELEVEMENT ET TRAITEMENT SUBI PAR UN ECHANTILLON.

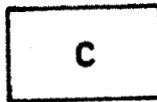
Les veines bien cohérentes fournissent des blocs, tandis que les veines friables ne donnent que des poussières. Les blocs de 10 cm d'épaisseur environ ou bien les poussières sont extraits selon une ligne orthogonale à la stratification. J'ai toujours pris garde de ne pas faire chevaucher plusieurs échantillons ni d'omettre de prélever certains lits (fig. 3). Les différents spécimens sont repérés stratigraphiquement par une flèche dirigée du toit au mur et numérotés selon cette direction. Ce mode de repérage qui peut paraître illogique aux yeux des géologues de terrain est toujours utilisé par les mineurs, et un procédé différent eût pu conduire à des méprises. Enfin, chaque veine est repérée géographiquement par ses coordonnées Lambert dont le lecteur trouvera la valeur en annexe.

2 . Les travaux préparatoires au laboratoire

En fonction du but que je m'étais fixé, je devais préparer mes échantillons de manière à pouvoir déterminer :

- la composition macérale,
- la microdureté Vickers de la collinite,
- les pouvoirs réflecteurs maximal et minimal de la collinite,
- la teneur en cendres,
- la teneur en matières volatiles,
- l'indice de gonflement,
- la transparence des charbons en diascopie infra-rouge.

En raison de ces mesures diverses, j'ai été amené à diviser chaque fragment en quatre parties. La première fraction est mise en réserve. La deuxième est envoyée au laboratoire chargé de rechercher sa teneur en cendres et en matières volatiles ainsi que son indice de gonflement. La troisième fraction conservée pour être examinée perpendiculairement à la stratification est enrobée dans la matière plastique. C'est sur cette fraction que furent effectuées des mesures de la microdureté Vickers et celle du pouvoir réflecteur. C'est aussi dans ce fragment que fut éventuellement taillée une lame mince destinée à être examinée en diascopie infra-rouge. Enfin, la quatrième fraction est broyée afin d'en réaliser un échantillon moyen (fig. 4 , p.53).

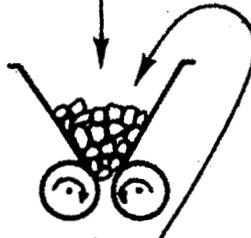


Débitage au marteau

Concasseur à mâchoires



Concasseur à cylindres

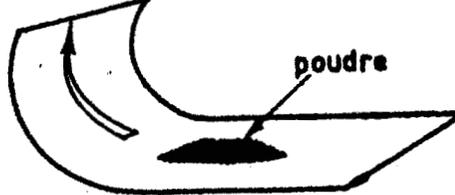


Tamisage



0, 800 mm

Homogénéisation



poudre

ENROBAGE
Palatal P4
(30g)



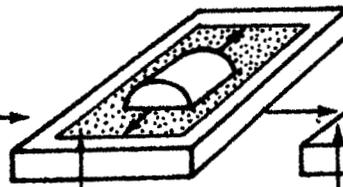
Poudre
(15g)



DÉBITAGE

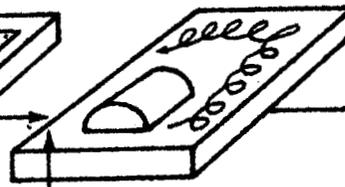


Réserve



eau + papier émeri
{ 240 A
400 A
600 A

POLISSAGE



eau + potée d'opticien



eau + oxyde de chrome puis précipité d'alumine

Fig. 4. —

PRÉPARATION D'UN ÉCHANTILLON MOYEN.

L'échantillon moyen a été confectionné d'après les normes fixées par la Commission des Analyses du Comité International de Pétrologie des Charbons (C.I.P.C., 1963). Cependant, comme la méthode préconisée n'est pas exactement circonscrite, je décrirai celle que j'ai utilisée. Cette méthode s'applique à tous les types de charbons avec la même réussite.

- Broyage et tamisage

La Commission des Analyses conseille un broyage ménagé de l'échantillon. Cette opération doit éviter d'obtenir une granulométrie inférieure à 100 microns. Or le charbon n'est pas un sédiment que l'on arrive à traiter avec des procédés classiques. Placé dans un broyeur à marteaux dont le rotor tourne généralement à grande vitesse on obtient une poudre impalpable même en utilisant des grilles à gros trous. En réduisant la vitesse de rotation les résultats obtenus sont du même ordre. En effet, les turbulences naissant au sein de la chambre de broyage sont si importantes que les grains sont constamment repris par les marteaux. Pour ces raisons, j'ai abandonné ces procédés trop violents. J'ai alors broyé les échantillons en deux temps pour obtenir la plus petite quantité possible de poudre présentant une granulométrie inférieure à 100 microns (fig. 4).

Après avoir débité l'échantillon au marteau, il est admis dans un concasseur à mâchoires. Il en sort réduit à l'état de fragments de 1 cm³ environ pratiquement sans poudre. Ces morceaux sont alors introduits dans un concasseur à cylindres réglables. Les particules écrasées tombent par gravité. Elles sont alors déposées sur un tamis de taille de maille égale à 800 microns (module 30 de la série A.F.N.O.R.). On passe la fraction à étudier dans le concasseur autant de fois que cela est nécessaire pour obtenir la granulométrie voulue pour l'ensemble de cette fraction. Entre chaque passée au concasseur, on procède au tamisage du charbon de manière à éviter un nouveau broyage des fragments ayant atteint la taille choisie. En procédant ainsi, on obtient très peu de grains de taille inférieure à 100 microns. L'examen au microscope a révélé que cette dernière fraction était presque toujours composée de collinite et plus rarement de débris de fusinite.

- Homogénéisation du broyat

Le produit du tamisage pratiquement équigranulaire est étalé sur une feuille de papier. On le fait "rouler" en tous sens en soulevant les coins de la feuille. On obtient au bout de quelques minutes une poudre parfaitement homogénéisée. Le lexique international de pétrologie des charbons préconise de prélever 5g de l'échantillon broyé et de les enrober dans 10 g de résine. J'ai pour ma part enrobé 15 g de matière charbonneuse dans 30 g de résine en estimant que de cette manière l'échantillon était plus représentatif de la roche. A ce sujet, je rappelle que, dans le cas de roches réduites à des dimensions équigranulaires, pour qu'un échantillon soit représentatif, il doit contenir 10 000 cristaux (règle de P. Laffitte). Parfois, une veine peu cohérente divisée en plusieurs sillons pose des problèmes de préparation des échantillons. Dans ce cas particulier, j'ai pesé, a priori, une quantité de charbon proportionnelle à l'épaisseur du sillon étudié. A partir de ce matériel, j'ai alors confectionné un échantillon moyen selon la technique décrite précédemment.

- Enrobage

Le produit broyé, pesé, est placé dans une capsule en étain. Le mélange résine-charbon est coulé dans ce moule que l'on détruit ultérieurement, ce qui évite les problèmes de démoulage et de nettoyage des récipients.

J'ai choisi comme résine d'enrobage le Palatal P 4 de la B.A.S.F. C'est un polyester non saturé en solution dans le styrène. En raison des propriétés optiques, mécaniques et thermiques qu'il acquiert après durcissement, le Palatal P4 est un produit d'enrobage de choix. Son instabilité chimique face aux substances fortement oxydantes ne constitue pas un défaut majeur. Ainsi les échantillons en grains peuvent facilement être attaqués par des mélanges sulfo-chromiques sans grand dommage pour la résine. La facilité de manipulation des produits d'enrobage n'est plus à démontrer.

Je rappelle que, lors des échantillonnages, j'ai prélevé tous les lits. Le produit broyé non épuré est donc un mélange de substances de densités fort différentes. Les substances charbonneuses ont des densités

variant de 1.1 à 1.7 selon les macéraux et selon le rang des houilles, tandis que les inclusions minérales présentent des densités toujours supérieures à celles du Palatal P4 (1. 120 à 20°C). C'est pourquoi, lors de l'enrobage, quelle que soit la viscosité de la résine et malgré un brassage continu de cette dernière pour homogénéiser le mélange, le danger de sédimentation des grains persiste. L'élimination des erreurs de comptage résultant de ces phénomènes est acquise en pratiquant des polissages de plans orthogonaux au fond du moule et en parcourant les surfaces obtenues de leur "partie supérieure" (dessus du moule) à leur "partie inférieure" et vice-versa. La polymérisation de la résine s'accompagne généralement d'un dégagement gazeux et d'un échauffement quelquefois important. Je précise que l'on peut faciliter le dégazage en insufflant de la fumée (de cigarettes par exemple) à la surface des moules. De plus, on évitera l'échauffement des échantillons en les plaçant dans l'eau froide au moment de la polymérisation de la résine.

Après durcissement, on note (gravure ou peinture) sur l'échantillon démoulé ses coordonnées sur deux faces latérales opposées. On le débite alors en deux à la scie à diamant selon un plan orthogonal au plan de sédimentation virtuel des grains. Une partie est gardée en réserve tandis que l'autre est aplanie et polie.

- Aplanissement

Délaissant les carborundums et les potées d'émeri à gros grains, j'ai préféré utiliser des papiers émeris à taille de grains décroissants. Le papier émeri offre sur les poudres l'énorme avantage de présenter des grains liés à leur support. De cette manière, il n'y a aucun danger à voir réapparaître au cours des opérations ultérieures les grains incrustés et sertis dans le charbon. Ceux-ci s'en détachant strient en tous sens la surface que l'on désire nette. J'utilise successivement des papiers waterproof numéro 240 A, 400 A et 600 A. On frotte le bloc d'un mouvement alternatif et sans le tourner sur le papier posé bien à plat sur une plaque de verre. Ce travail s'opère sous un faible courant d'eau. On profite du travail sur le papier à gros grain pour briser les arêtes et les coins du bloc en pré-

vision de son passage sur la polisseuse. En effet, une arête tranchante peut empêcher un bon polissage tout en risquant de déchirer le drap.

Après le passage sur le papier 600 A, il subsiste des stries très fines. On les fait disparaître en terminant le dégrossissage grâce à une potée d'éméri d'opticien (W 6, 12 microns, 1600 fils) déposée sur une plaque de verre dépoli (Technique A. Duparque, 1933). En quelques tours sur la plaque, l'échantillon se révèle sans stries. L'intérêt de cette méthode est sa rapidité. On arrive en quelques minutes à une surface mate plane prête au polissage.

- Polissage

Celui-ci s'opère en deux temps : un polissage préparatoire et un polissage final.

Le polissage préparatoire s'effectue sur disque, tournant à 163 ou 246 tours/minute, garni d'un drap de billard sur lequel on a déposé de l'oxyde de chrome peu ou pas dilué. Certains lui préfèrent l'oxyde de cérium.

La faible vitesse de rotation permet de faire tourner aisément le bloc de manière circulaire en sens inverse de la rotation du disque et en appuyant modérément. La fin du polissage préparatoire est marquée par le fait que l'eau de rincage se retire de la périphérie vers le centre de l'échantillon. On fait alors glisser légèrement et en tous sens la surface polie sur une feuille de papier filtre posée sur une plaque de verre plane sous un léger courant d'eau. Cette opération élimine les restes d'oxyde de chrome. On envoie alors un jet d'eau distillée sur la surface qui ne se mouille plus. On sèche la surface polie en l'appliquant sur du papier filtre. Dans beaucoup de cas, à la fin du polissage préparatoire l'échantillon est suffisamment réfléchissant pour que l'on puisse en déterminer la composition macérale.

Cependant on peut améliorer l'état de la surface en procédant sur elle à un polissage final.

Le polissage final. On termine le polissage préparatoire sur un disque garni de velours de coton. Ce disque tourne à 550 ou à 1150 tours/ minute. On dépose sur lui du précipité d'alumine Tonerde I, puis II et si cela est nécessaire Tonerde III (1).

Il est bien entendu que l'on procède entre chaque opération à un lavage de la surface sous un puissant jet d'eau. Si l'eau est calcaire, on termine toujours la dernière opération par un lavage à l'eau distillée.

Il faut cependant remarquer que le polissage préparatoire conduit à des surfaces exemptes de stries mais présentant un certain relief. Ce dernier doit être banni des échantillons en blocs sur lesquels on s'est proposé d'effectuer des mesures de pouvoir réflecteur. Il engendre en effet des zones ombrées et conduit à des valeurs inférieures à la réalité. C'est pourquoi, j'ai le plus souvent utilisé lors du polissage préparatoire un disque garni de bois de tilleul. On taille à la surface du bois de fines stries concentriques destinées à retenir l'oxyde de chrome. A grande vitesse on obtient des surfaces sans relief dont on termine le polissage final par la méthode décrite précédemment.

Les échantillons polis, en blocs ou en grains, sont alors montés à la pâte à modeler sur une plaque de verre à l'aide d'une presse à main. On prend garde d'orienter les échantillons en grains sur la platine du microscope de manière à pouvoir parcourir leur surface orthogonalement par rapport au plan de stratification virtuel des grains pendant leur enrobage.

Les charbons sont alors prêts à être examinés selon l'une ou l'autre des techniques dont je décris maintenant les principes.

(1) Firme Dujardin et Cie à Düsseldorf (Allemagne).

Fig. 5 .- Ensemble microscopique. Microscope Ortholux (Leitz) et compteur de points automatique Swift.

Fig. 6 .- Duromètre Durimet (Leitz). Cet appareil permet de réaliser des mesures avec une très grande précision. Sa fidélité est extrême.

Fig. 7 .- Ensemble photométrique

On distingue à droite, l'ensemble des appareils stabilisateurs (Knott - Elektronik). La partie inférieure est constituée par un appareil de type NSLI assurant la stabilisation du courant alimentant la lampe d'éclairage. La partie supérieure, de type NSHM, permet de réaliser la stabilisation de la tension d'alimentation du photomultiplicateur. On reconnaît dans la partie centrale de la figure, un microscope Ortholux surmonté par un ensemble Knott-Elektronik équipé d'un tube multiplicateur EMI et d'un système Leitz grossissant et filtrant. A gauche, on distingue un enregistreur potentiométrique Servogor. Cet appareil permet d'enregistrer sur bande et de manière semi-automatique les valeurs du pouvoir réflecteur de la collinite.

3 . Les techniques d'étude

A - Comptage des macéraux (fig. 5, p.60)

J'ai recherché la composition macérale des nombreux échantillons du bassin du Nord et du Pas-de-Calais grâce à un compteur de points automatique Swift. Cet appareil est monté sur un microscope Ortholux de la firme Leitz, équipé d'oculaires à grossissement 10 et le plus souvent d'un objectif, à immersion dans l'huile, de grossissement 60. J'ai identifié le macéral se trouvant dans le quadrant NE et immédiatement au contact des fils du réticule. J'ai préféré cette méthode à celle préconisée dans le lexique international, car les fils du réticule cachent parfois complètement le macéral que l'on cherche à reconnaître (micrinite fine par exemple).

B - Microdureté Vickers (fig. 6, p.60)

La microdureté Vickers (HV) est donnée par la formule :

$$HV = \frac{1859 \cdot P}{d^2}$$

HV = Microdureté Vickers en kg/mm².

P = Charge d'essai en grammes.

d = Longueur des diagonales de l'empreinte en microns.

J'ai utilisé le duromètre pour petites charges Durimet de la firme Leitz (fig. 6). Il est bien entendu nécessaire de prendre toutes les précautions voulues lors de l'expérimentation, tant au point de vue du choix de la plage à étudier, de la réalisation, de l'espacement des images d'impact et des mesures des empreintes.

La microdureté Vickers mesurée est celle de la collinite. Les empreintes-au nombre de 10 par échantillon- ont été réalisées dans des plans perpendiculaires à la stratification et selon des directions prises au hasard. Le diamant pyramidal à base carrée, à angle au sommet égal à 136°, solidaire d'un plateau (poids total diamant et plateau : 15 g) tombe d'une hauteur de 0,4 mm en 17 secondes. H. Roth-Meyer (1950, p. 908) a montré à propos de l'étude de cristaux la supériorité du pénétrateur

pyramidal sur le pénétrateur sphérique. Des "variations de dureté et de forme des empreintes dues à l'anisotropie du cristal" et "l'orientation des faces cristallines" peuvent être décelées. G. Toubeau (1962 a, p.249) a, lui, mis en évidence "Le caractère vectoriel de la microdureté de minéraux opaques". J'ai pour ma part remarqué que, pratiquement dans tous les cas, la plus grande diagonale de l'empreinte était dirigée parallèlement ou peu inclinée par rapport à la stratification. Cependant, il ne faut pas, semble-t-il, attacher une trop grande importance à cette remarque car les différences de valeur enregistrées selon cette direction sont toujours très faibles. Comme l'a préconisé B. Alpern (1959, p. 59), j'ai laissé le diamant en contact avec l'échantillon massif pendant 10 secondes au minimum. Dans le cas de charbon présentant des propriétés élastiques, j'ai rendu plus visible les empreintes obtenues en tirant légèrement la lampe bas voltage hors de sa monture, en veillant toutefois à ce que les quatre surfaces de l'empreinte demeurent également éclairées. J'ai bien évidemment rejeté les empreintes présentant des angles se prolongeant par des fentes ou des arêtes à cassure conchoïdale.

En étudiant les charbons, on est amené à utiliser des charges faibles. De ce fait, les empreintes sont petites et on ne fait que mesurer la dureté des couches superficielles. C'est pourquoi, de manière à obtenir des résultats comparables, j'ai toujours utilisé la même charge égale à 15 g.

Actuellement, le seul type de polissage réalisable sur les charbons est le polissage mécanique. Ceci entraîne des modifications de la dureté de la surface mais on peut admettre que cette méthode ayant été la même pour tous les échantillons, les résultats obtenus sont comparables.

C - Mesure du pouvoir réflecteur (fig. 7, p. 60)

J'ai suivi pour étudier le pouvoir réflecteur des charbons du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais les méthodes préconisées par K. Kötter dès 1960, successivement perfectionnées en 1961 (K. Kötter et W.D. Langner) et en 1965 (W. Pickhardt et Kl. Robock).

On mesure le pouvoir réflecteur de la collinite. En effet, la collinite qui est le composant le plus abondant des houilles, présente des surfaces polies assez étendues exemptes de structures susceptibles d'influencer les résultats. Le pouvoir réflecteur (P.R.) est le rapport entre l'intensité de la lumière réfléchie et celle de la lumière incidente ; il s'exprime en pourcentage.

J'ai effectué toutes les mesures en lumière polarisée sur des surfaces sèches soumises à un polissage sans relief et observées à immersion dans l'huile.

J'ai eu la chance de pouvoir disposer d'un appareillage (fig.7) hautement perfectionné identique à celui utilisé par W. Pickhardt et K. Robock (1965). Il comprend :

- un microscope Ortholux (POL) de la firme Leitz,
- un photomultiplicateur Knott-Ele^tronik,
- un système d'appareils stabilisateurs du courant alimentant la lampe d'éclairage du microscope d'une part et de la tension d'alimentation du photomultiplicateur d'autre part (matériel Knott-Ele^tronik),
- un enregistreur potentiométrique Servogor,
- un saphir blanc synthétique fabriqué par la firme Weinz.

Je résume ci-dessous quelques-unes des caractéristiques techniques des appareils utilisés.

Microscope Ortholux (POL)

- objectifs x 12,5, x 25, x 60, x 80, x 125 à immersion d'huile,
- oculaires x 10,
- lumière monochromatique polarisée filtrée verte de longueur d'onde prédominante égale à 5250 Å,
- huile Leitz d'indice $n_D^{25} = 1,5150$,
- étalon : leucosaphir synthétique de pouvoir réflecteur 0,595 %.

Appareils stabilisateurs

- Stabilisation du courant alimentant la lampe d'éclairage du microscope réalisée par un appareil Knott-Ele^tronik, type NSLI, dont

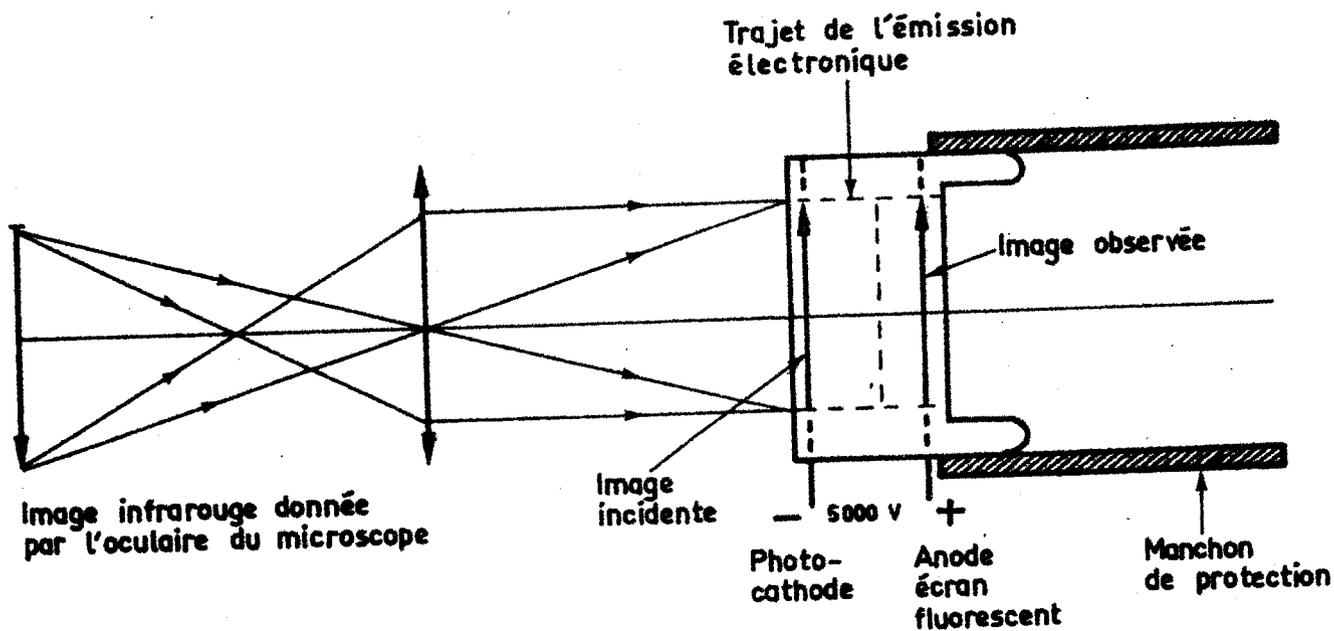


Fig. 8. — CONVERTISSEUR SANS OPTIQUE ELECTRONIQUE .

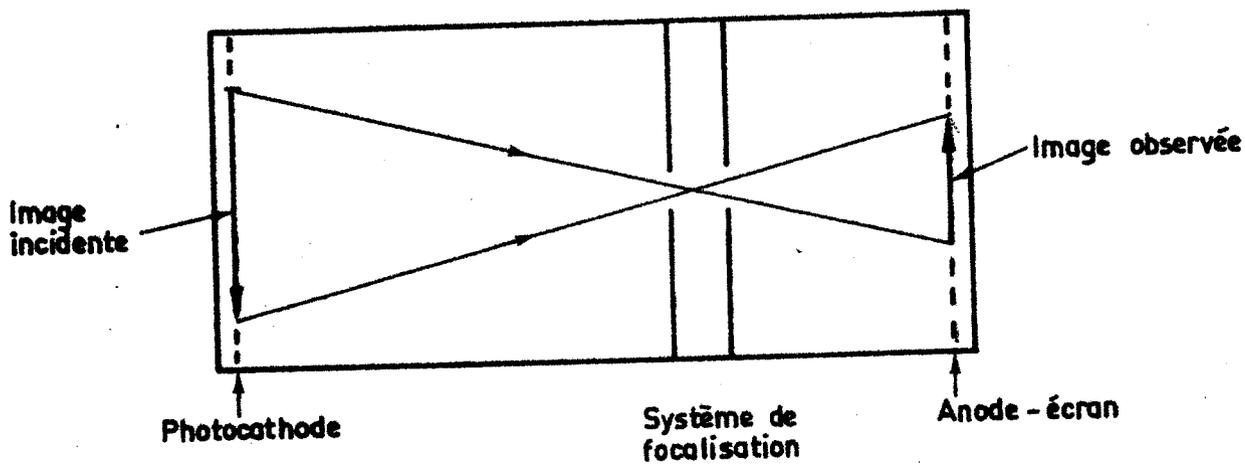


Fig. 9. — CONVERTISSEUR A OPTIQUE ELECTRONIQUE .

la stabilité est meilleure que 10^{-4} pour $\pm 15\%$ de variation de la tension du secteur. Cette alimentation peut fournir 10 ampères sous 13 volts ; précision du réglage en courant : 10 mA ; résistance interne supérieure ou égale à 10 KOhm.

- Stabilisation de la tension d'alimentation du photomultiplicateur par appareil Knott-Elektronik, type NSHM. Cette alimentation peut fournir 5 mA entre 200 et 2 500 volts ; tension réglable à 0,1 volts près variation de la tension inférieure à ± 50 mV pour $\pm 10\%$ de la variation de la tension du secteur ; résistance interne inférieure ou égale à 2 Ohm.

Photomultiplicateur

Ensemble Knott-Elektronik équipé d'un tube photomultiplicateur EMI et d'un système LEITZ grossissant, filtrant et permettant d'observer une plaque d'un diamètre de 5 microns.

Enregistreur potentiométrique Servogor

- Largeur utile : 20 cm,
- 10 calibres de 2 mV à 20 V pleine déviation,
- précision $\pm 0,5\%$ de la valeur en fin d'échelle ou ± 20 μ V.
- temps d'élongation 1 s maximum pour 2/3 de la largeur utile.

D - Diascopie infra-rouge (fig. 8 et 9)

L'étude des propriétés optiques des minéraux opaques en diascopie infra-rouge (G. Toubeau 1962 b et 1964) m'a incité à observer les charbons du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais selon ces méthodes. A priori, il paraissait intéressant d'étudier la transparence des charbons à des rayonnements incidents de longueur d'onde plus grande (proche infra-rouge 8000 à 12000 Å) que la lumière visible. Ce type d'étude est rendu possible grâce à l'utilisation de convertisseurs d'images se présentant sous deux types principaux (R. Falgon, 1952, p.6) : convertisseur sans optique électronique (fig. 8) et convertisseur à dispositif de focalisation des électrons (fig. 9). G. Toubeau (1964) a exposé le principe de ces convertisseurs ainsi que les avantages et les inconvénients que présentent ces différents systèmes.

En ce qui concerne les charbons, j'ai observé des lames minces non recouvertes taillées perpendiculairement à la stratification et amincies au maximum.

E - Etude statistique sur ordinateur

A la suite des nombreuses mesures réalisées sur chaque échantillon, je disposais de 18 valeurs des divers paramètres pétrographiques, chimiques et physiques étudiés. Il était intéressant de rechercher les corrélations pouvant exister entre ces paramètres pris deux à deux. Ce travail a été réalisé sur ordinateur M 40 au Laboratoire de Calcul de la Faculté des Sciences de Lille. J'ai aussi pu procéder avec l'aide efficace de Monsieur Leguy à la recherche de types de houilles grâce à ces moyens puissants.

F - Caractères chimiques

Les caractères chimiques (teneurs en cendres, en matières volatiles et indices de gonflement) des charbons étudiés ont été mesurés dans les laboratoires des Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais selon les normes françaises (NF. M 03 - 003, 1962 ; M 03 - 004, 1967 ; et M 11 - 001, 1944).

Les nombreuses figures données en annexe renferment tous les résultats des différentes analyses. Chacune d'elles est accompagnée d'un commentaire précisant les enseignements les plus importants qu'elle apporte et toutes ces informations sont utilisées dans le travail d'ensemble concernant les charbons étudiés.

DEUXIEME PARTIE

ETUDE PETROLOGIQUE DE VEINES DE HOUILLE

DU BASSIN DU NORD ET DU PAS-DE-CALAIS

CHAPITRE PREMIER

ANALYSES MACERALES

Si les mesures concernant certaines propriétés physiques (pouvoir réflecteur, transparence en diascopie infra-rouge, microdureté Vickers) ont la précision que leur confère la sensibilité des appareils utilisés, il n'en est pas de même des analyses macérales. En effet, là, le caractère subjectif des déterminations est prédominant. C'est pourquoi j'ai été amené à vérifier le principe de l'analyse macérale par le comptage de points. Toutefois, je préciserai tout d'abord les différents modes de représentation des résultats que j'ai utilisés dans ce travail.

I. REPRESENTATION DES RESULTATS

L'analyse de la composition macérale conduit à un certain nombre de résultats dont l'examen et la comparaison sont grandement facilités par une représentation schématique.

1. Composition macérale. Les histogrammes

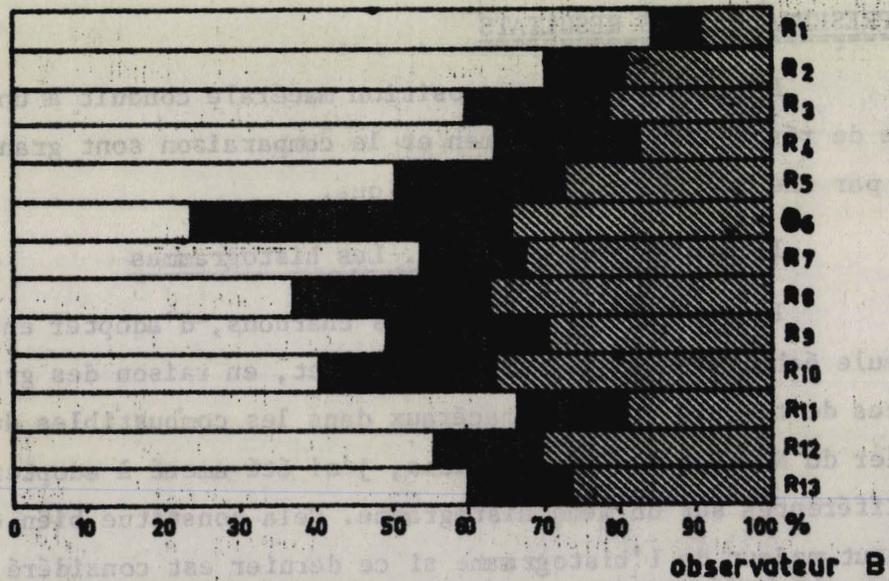
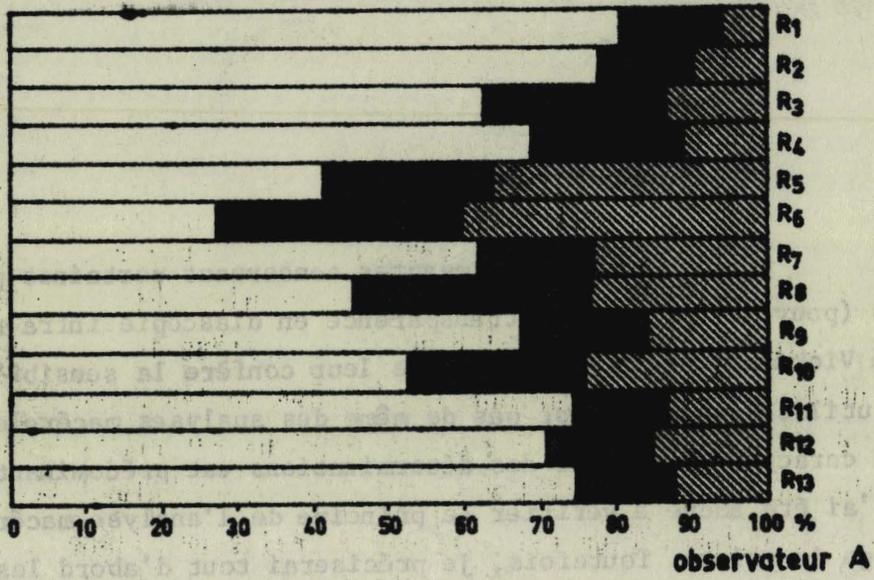
Il est difficile, pour les charbons, d'adopter en ordonnées une seule échelle de pourcentages. En effet, en raison des grandes différences de teneurs ^{des} divers macéraux dans les combustibles du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais, j'ai été amené à adopter 3 échelles différentes sur un même histogramme. Cela constitue bien évidemment un défaut majeur de l'histogramme si ce dernier est considéré à part, mais étant mieux équilibré, il est plus aisé d'établir des comparaisons entre un grand nombre d'entre eux. Ainsi un centimètre représente pour :

la collinite (Co) : 20 %,

la télinite (Te) : 0.5 %,

la sporinite (Sp) : 5 %,

la cutinite (Ct) : 5 %,



LÉGENDE

- Vitrinite
- Exinite
- Inertinite

Fig. 10. — COMPARAISON DES RÉSULTATS OBTENUS PAR DEUX OBSERVATEURS DIFFÉRENTS POUR L'ENSEMBLE DE LA VEINE ROSALIE.

la résinite (Re) : 0.5 %,
la micrinite fine (Mf) : 5 %,
la micrinite massive (Mm) : 5 %,
la sclérotinite (Sc) : 0.5 %,
la semifusinite (Sf) : 5 %,
la fusinite (F) : 5 %,
les matières minérales (M) : 20 %.

Il faut remarquer que les 6 constituants les plus fréquents sont représentés avec la même échelle (Sp, Ct, Mf, Mm, Sf et F). Afin d'en faciliter la lecture chaque figure de l'annexe montrant des histogrammes comporte dans sa légende une échelle des pourcentages. En outre, pour chaque groupe de macéraux V, E et I, j'ai adopté un figuré spécial. Enfin, sous chaque colonne, j'ai noté l'abréviation (cf. fig. 12) du macéral. A chaque histogramme correspond un échantillon et, en comparant les histogrammes, j'ai pu tenter de définir un certain nombre de types de charbons.

2. Composition en groupes de macéraux

La représentation en groupe de macéraux se fait soit sous forme de diagramme horizontal, soit sous forme de diagramme triangulaire.

A. Diagramme horizontal (fig. 10)

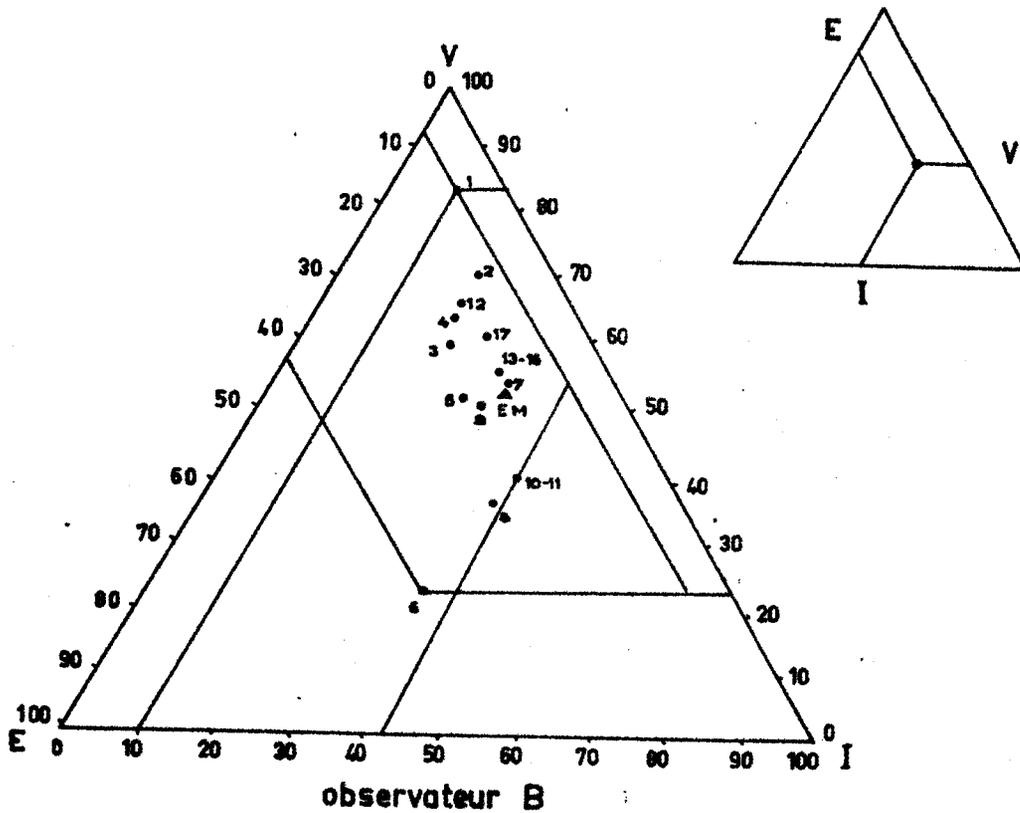
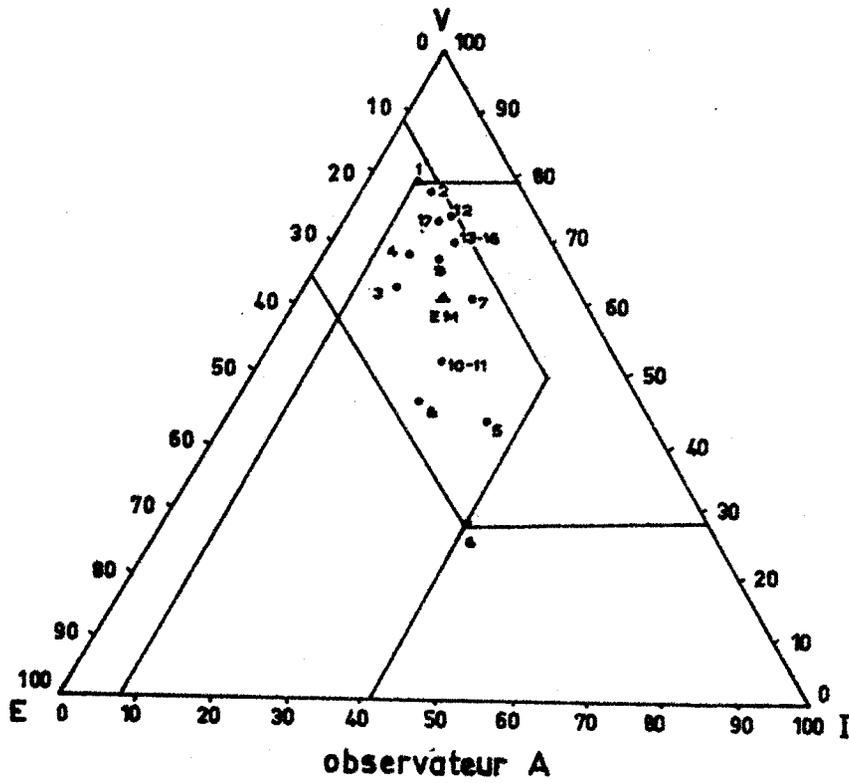
La veine Rosalie (prélèvement 1, figure I c de l'annexe) d'une puissance de 1,10 m a été découpée lors de l'échantillonnage en 13 fragments superposés. L'analyse macérale a permis de construire les 13 histogrammes correspondants (1 à 13, fig. IIc de l'annexe). La teneur calculée en V, E et I de chaque échantillon (matières minérales exceptées) est placée dans un cadre contenant tous les échantillons. De cette manière, on a une bonne vue d'ensemble sur les variations verticales de la vitrinite, de l'exinite et de l'inertinite au cours du dépôt de la veine Rosalie. La figure 10 montre les résultats obtenus par deux observateurs différents lors de l'étude de cette veine. Les diagrammes sont dans l'ensemble fort voisins.

Ce moyen permet, lui aussi, de voir d'un seul coup d'oeil, en juxtaposant les diagrammes, les grandes variations verticales et latérales de la vitrinite par exemple au voisinage du Tonstein Patrice.

Corrélation entre	Sens	Valeur de la Corrélation (%)	Probabilité
<u>VITRINITE</u>	(<u>Collinite</u>	76.21	0.000000
	(<u>Télinite</u>	2.62	0.007658
	(<u>Sporinite</u>	49.84	0.000000
	(<u>Cutinite</u>	2.52	0.008911
	(<u>Résinite</u>	3.68	0.001418
	(<u>Micrinite fine</u>	26.62	0.000000
	(<u>Micrinite massive</u>	55.65	0.000000
	(<u>Sclérotinite</u>	4.92	0.000238
	(<u>Semifusinite</u>	45.15	0.000000
(<u>Fusinite</u>	11.08	0.000000	
<u>EXINITE</u>	(<u>Collinite</u>	45.29	0.000000
	(<u>Télinite</u>	3.68	0.001539
	(<u>Sporinite</u>	97.61	0.000000
	(<u>Cutinite</u>	10.43	0.000000
	(<u>Résinite</u>	10.36	0.000000
	(<u>Micrinite massive</u>	51.40	0.000000
	(<u>Semifusinite</u>	5.85	0.000062
	(<u>Fusinite</u>	3.42	0.002293
<u>INERTINITE</u>	(<u>Collinite</u>	51.69	0.000000
	(<u>Sporinite</u>	6.81	0.000014
	(<u>Micrinite fine</u>	38.93	0.000000
	(<u>Micrinite massive</u>	25.90	0.000000
	(<u>Sclérotinite</u>	5.61	0.000085
	(<u>Semifusinite</u>	56.70	0.000008
	(<u>Fusinite</u>	35.16	0.000000

Tabl. 3. - Corrélations entre les groupes de macéraux et les macéraux des houilles du bassin du Nord et du Pas-de-Calais.





BUS
MINE

Fig. 11. — COMPOSITION SELON LE POINT DE PRISE DANS LA VEINE ROSALIE. COMPARAISON DES RÉSULTATS OBTENUS PAR DEUX OBSERVATEURS DIFFÉRENTS.

B. Diagramme triangulaire (fig. 11)

On a une idée plus précise de la variation des conditions de dépôt en figurant la composition en groupe de macéraux sur un diagramme triangulaire. Il faut rappeler que les groupes de macéraux V, E et I ont été créés à l'origine à des fins technologiques. Leur utilisation dans la recherche des variations des mécanismes de dépôt peut alors paraître déplacée. Toutefois, il faut remarquer que la télinite, la cutinite, la résinite et la sclérotinite sont des macéraux accessoires des houilles. Ils représentent en effet respectivement 0.28, 0.22, 0.22 et 0.08 % de la composition macérale globale (y compris les matières minérales) des charbons étudiés. Par conséquent, il ne faut pas perdre de vue que la vitrinite d'un diagramme triangulaire représente en fait la collinite, le pourcentage en exinite correspond à la teneur en sporinite et celui de l'inertinite à celle des tissus ligneux ou à celle de leur produit de désagrégation. Cela est confirmé par les corrélations mathématiques établies entre V, E, I et les différents macéraux pour tous les charbons étudiés. Le tableau 3 précise le sens (+ ou -) de la variation linéaire, la valeur de cette liaison (%) et la valeur de la probabilité (ex. : 1.007658 ; c'est à dire qu'il y a 7658 chances sur un million pour que la corrélation soit fausse) avec laquelle celle-ci est établie.

A la lumière de ces remarques on peut, en examinant un diagramme triangulaire, voir si le dépôt est homogène du mur au toit. De plus s'il existe une grande dispersion des points dans le diagramme, on définit les limites entre lesquelles se sont opérées les variations enregistrées.

Enfin si l'on ne considère que les échantillons moyens (E.M.) de chaque veine dans chaque groupe d'exploitation, on peut, grâce à un diagramme triangulaire, observer l'évolution de la composition en groupes de macéraux de l'Ouest à l'Est du bassin.

Chaque diagramme triangulaire est accompagné d'un diagramme de référence facilitant la lecture et l'interprétation des résultats. Là aussi les résultats obtenus par deux observateurs différents sont tout à fait comparables (fig. 11).

C. Représentation des variations verticales des veines à chaque point de prélèvement

J'ai pu effectuer, je le rappelle, 19 prélèvements dans le bassin et en suivre les variations verticales des compositions macérales,

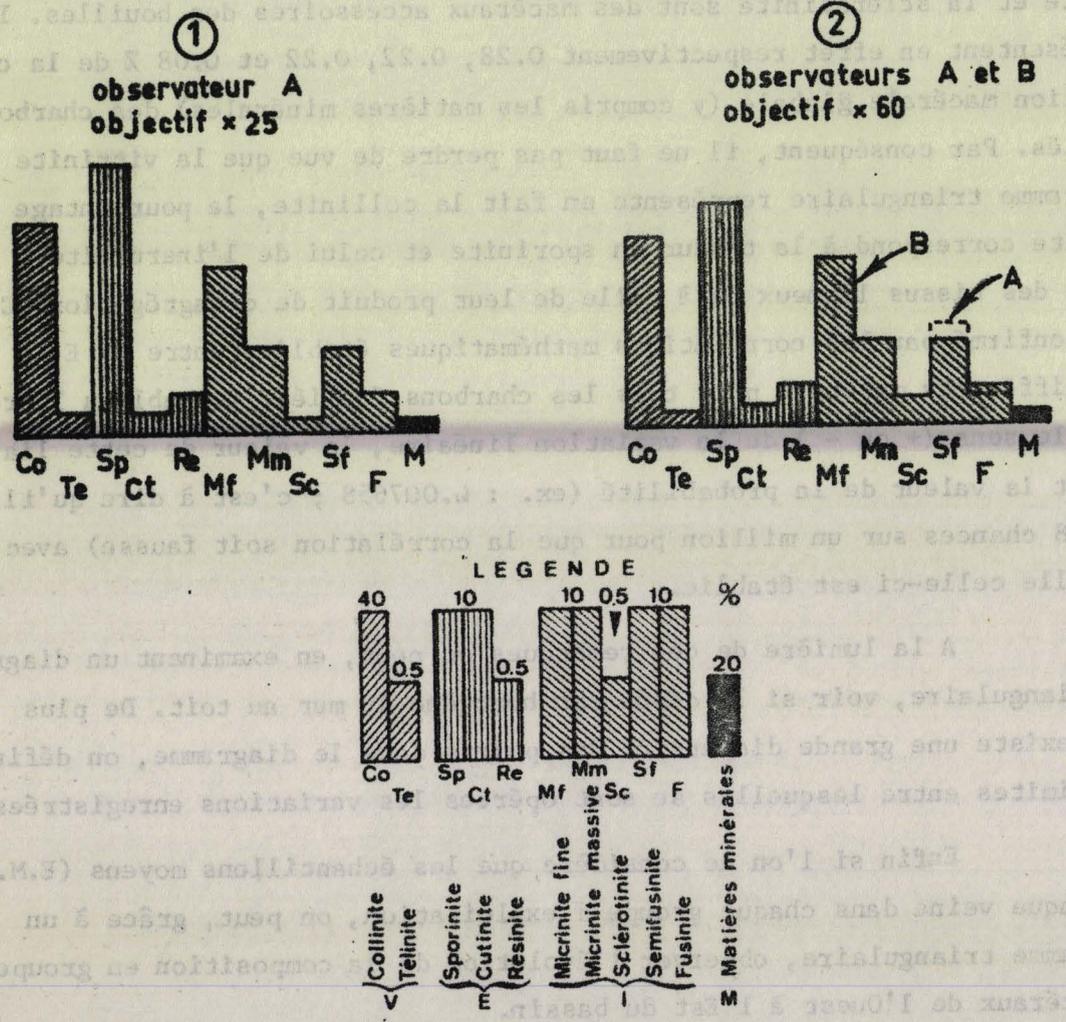


Fig. 12. — COMPTAGE D'UN ECHANTILLON MOYEN PAR DEUX OBSERVATEURS DIFFERENTS.

BUS
LILLE

minérales et des caractères physiques et chimiques respectifs. A cet effet, j'ai présenté sur les figures III, VI, IX et X de l'annexe tous les résultats acquis dans ces divers domaines. De cette façon, j'ai pu définir des corrélations entre des paramètres pris deux à deux et en suivre les variations. Je n'ai évidemment pas pu préciser la nature exacte de la fonction liant les résultats obtenus.

II. VALEUR DE LA METHODE

Il a déjà été réalisé des études particulières relatives aux techniques d'analyse microscopique quantitative en vue d'apprécier les erreurs commises (M. Th. Mackowsky, 1958 b ; V. Hevia Rodriguez, 1959 a et b ; E. Mériaux, 1966 b) et de représenter les résultats sur des diagrammes nouveaux (V. Hevia Rodriguez et J. Gonzalez Prado, 1960 et V. Hevia Rodriguez, 1964). Toutefois, j'ai voulu apprécier la valeur de la méthode lorsqu'elle est appliquée aux combustibles du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais.

On peut limiter, sans risque d'erreur, à trois le nombre de paramètres susceptibles de subir des variations importantes lors des comptages :

- le facteur subjectif d'appréciation du macéral à compter,
- le nombre de points à compter sur la surface d'un échantillon en grains,
- l'espacement des points lors du comptage.

Enfin il convient de voir si le résultat de l'analyse d'un échantillon moyen confectionné à partir de n échantillons est aussi valable que celui obtenu en faisant la moyenne arithmétique des analyses partielles réalisées sur chacun d'eux.

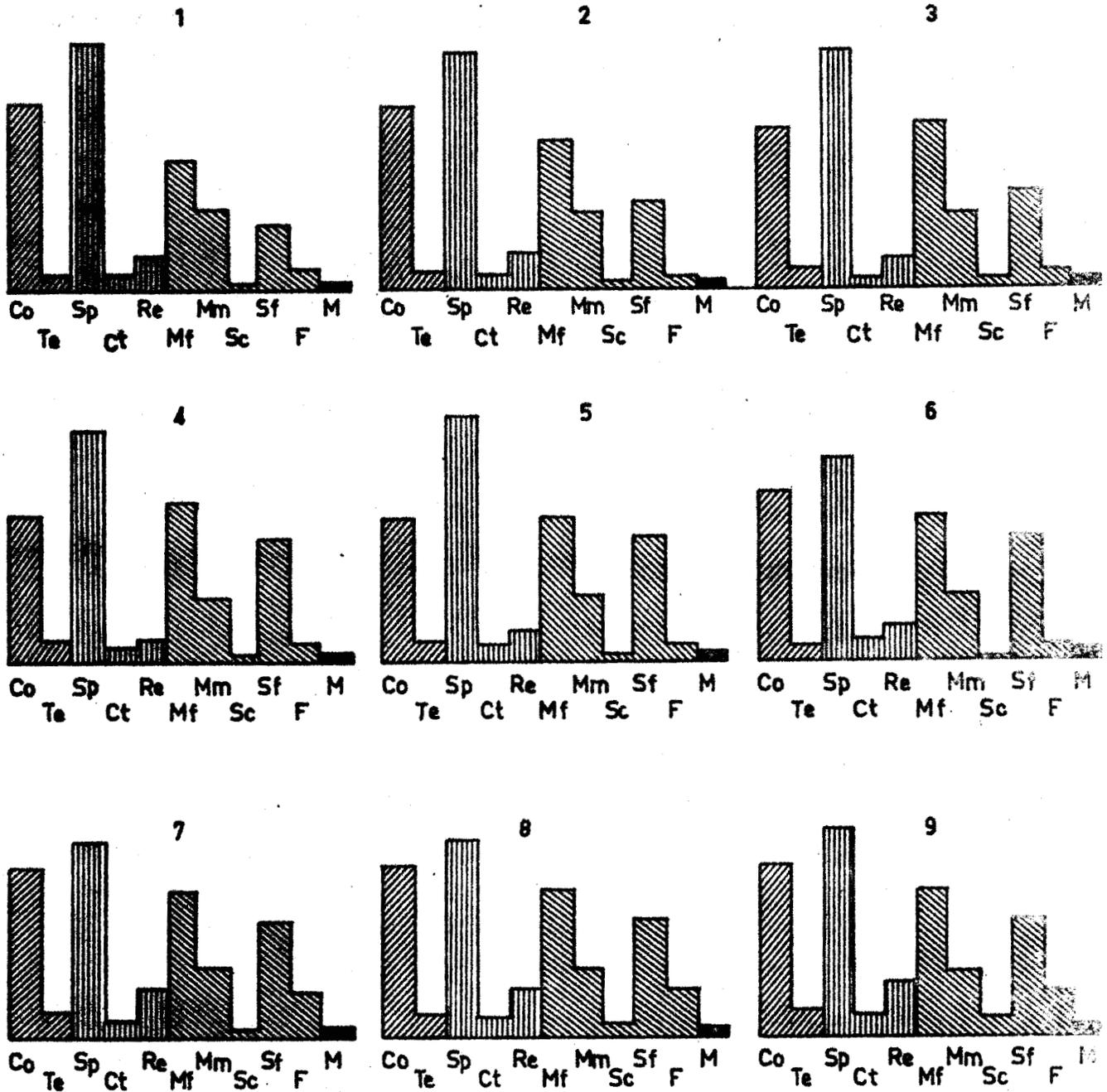
1. Appréciation du caractère subjectif lors du comptage des macéraux (fig. 12)

J'ai montré dans le chapitre précédent les difficultés qui peuvent surgir lors de la diagnose des macéraux. Cependant, avec un peu d'habitude, on peut abaisser le pourcentage d'erreur en utilisant un

objectif à grossissement moyen (x60). Mais, je conseille, avant d'utiliser un tel grossissement d'observer l'échantillon pendant quelques instants avec un objectif à grossissement plus faible (x 25 par exemple). La même technique de comptage étant adoptée, un lot d'échantillons a été soumis à un autre observateur. Un comptage de 500 points sur ce charbon peu évolué a montré des différences entre les résultats d'un comptage réalisé avec un objectif x 25 et ceux obtenus à l'aide d'un objectif x 60 (fig. 12). Ces différences, de l'ordre de 0.2 à 3 % selon les macéraux tendent vers 0 en utilisant le même matériel optique. Il subsiste toujours, bien évidemment, un certain coefficient d'appréciation personnelle. Ce facteur subjectif affecte tout particulièrement les résultats des comptages des macéraux situés, du point de vue de leur degré d'évolution, à mi-chemin entre des macéraux types. Ainsi entre la fusinite, la semifusinite et la télinite il existe toute une gamme de tissus ligneux plus ou moins gélifiés ou transformés qu'il est parfois difficile de rattacher à l'un ou à l'autre de ces termes. Ce sont des différences de cet ordre que la Commission des Analyses enregistre quand elle fait circuler, dans les laboratoires de pétrographie des charbons du monde entier, des échantillons dont chacun doit préciser la composition macérale.

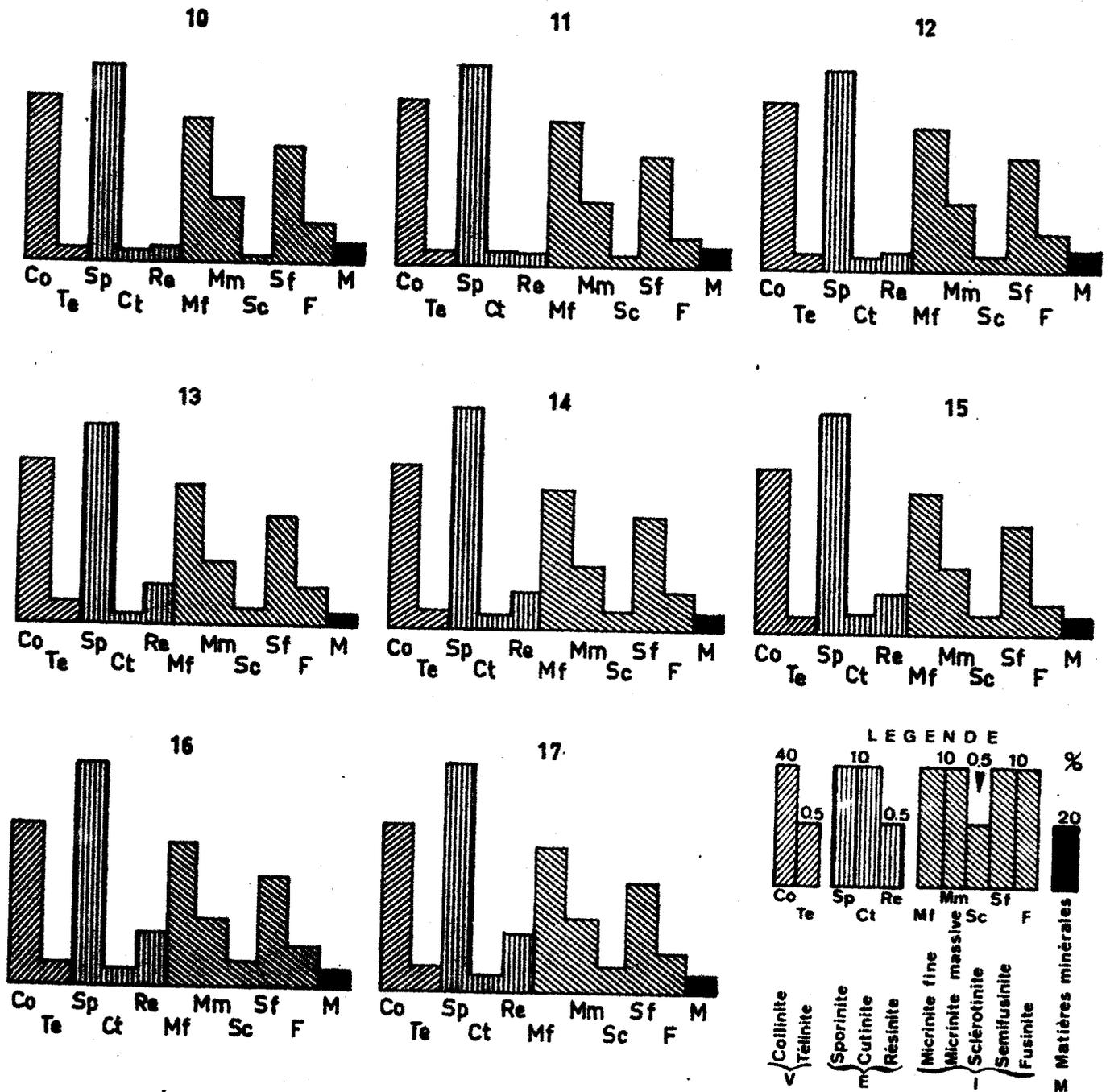
2. Nombre de points à compter et leur espacement

L'espacement et le nombre de points qu'il est nécessaire de compter sur un échantillon en grains sont bien entendu liés. J'ai voulu vérifier et apporter un certain nombre de précisions concernant ces relations et ce processus d'analyse. La méthode a consisté à analyser sur un échantillon de charbon peu évolué le maximum de macéraux répartis selon un espacement des points et des lignes de 0.1 mm. De manière à se servir ultérieurement des résultats ainsi obtenus sans avoir à procéder à de nouveaux comptages pour des espacements de 0.2, 0.3, 0.4, et 0.5 mm on enregistre lors du premier examen (taille de maille de 0,1 mm) la nature de toutes les plages ayant défilé dans le quadrant NE de la croisée des fils du réticule (y compris la résine d'enrobage). Ainsi après le comptage de 0.1 en 0.1 mm on dispose d'une grille exploitable pour des opérations ultérieures. En comptant par exemple un point sur deux on passe à une maille de 0.2 mm. De plus pour un espacement donné, on peut obtenir en



1. 591	4. 2079	7. 3759
2. 1036	5. 2619	8. 4145
3. 1467	6. 3285	9. 4854

Fig. 13. — COMPOSITION MACÉRALE POUR DES TOTAUX PARTIELS DE 0,1 EN 0,1mm. —



10. 5191
 11. 5653
 12. 6259

13. 6742
 14. 7429
 15. 7896

16805 8474
 17. 8635

Fig. 14. — COMPOSITION MACÉRALE POUR DES TOTAUX PARTIELS DE 0,1 EN 0,1 m/m.

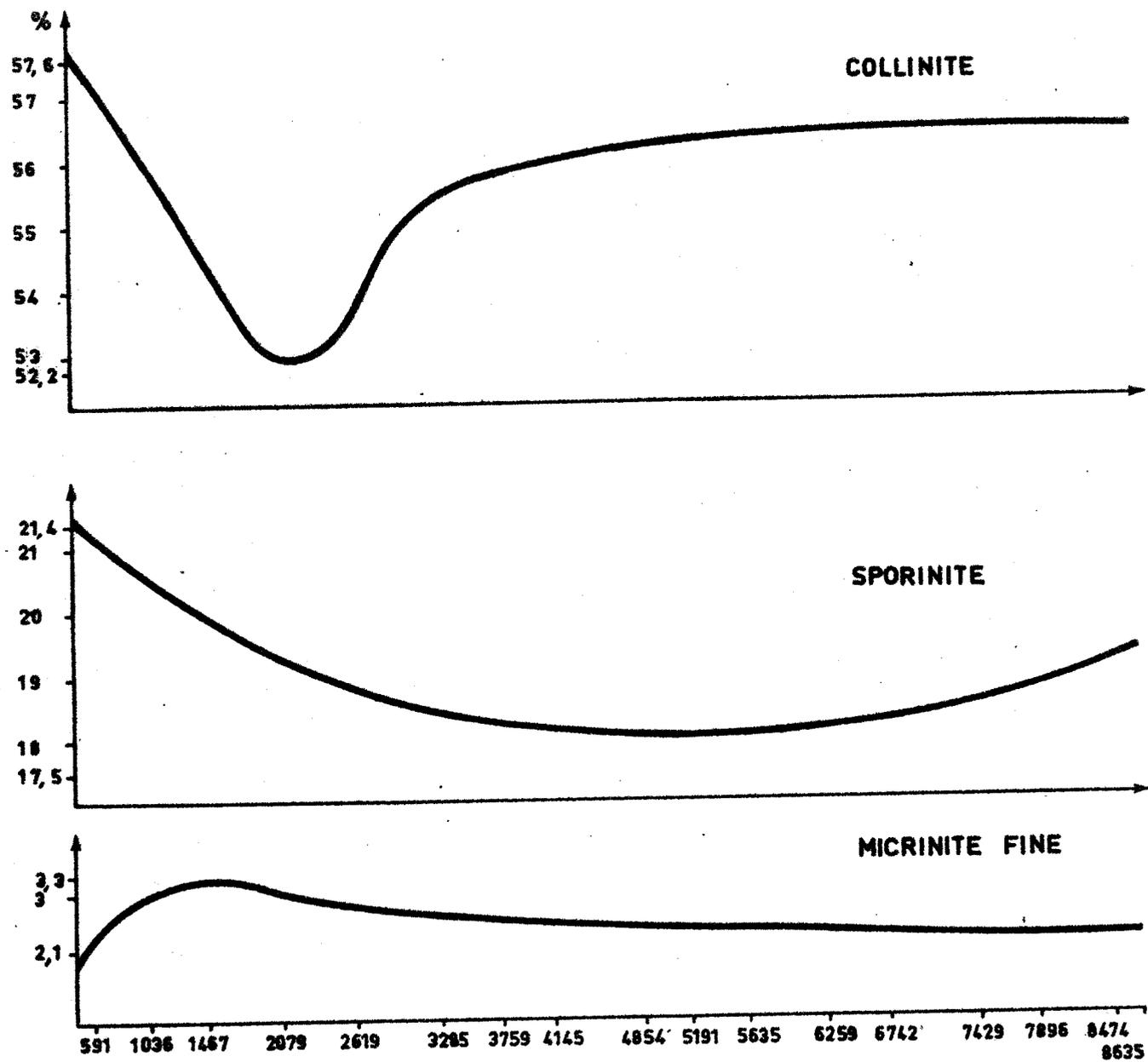


Fig. 15. 

VARIATIONS DES POURCENTAGES DES MACÉRAUX
EN FONCTION DU NOMBRE DE POINTS COMPTÉS.
(Espacement 0,1mm)

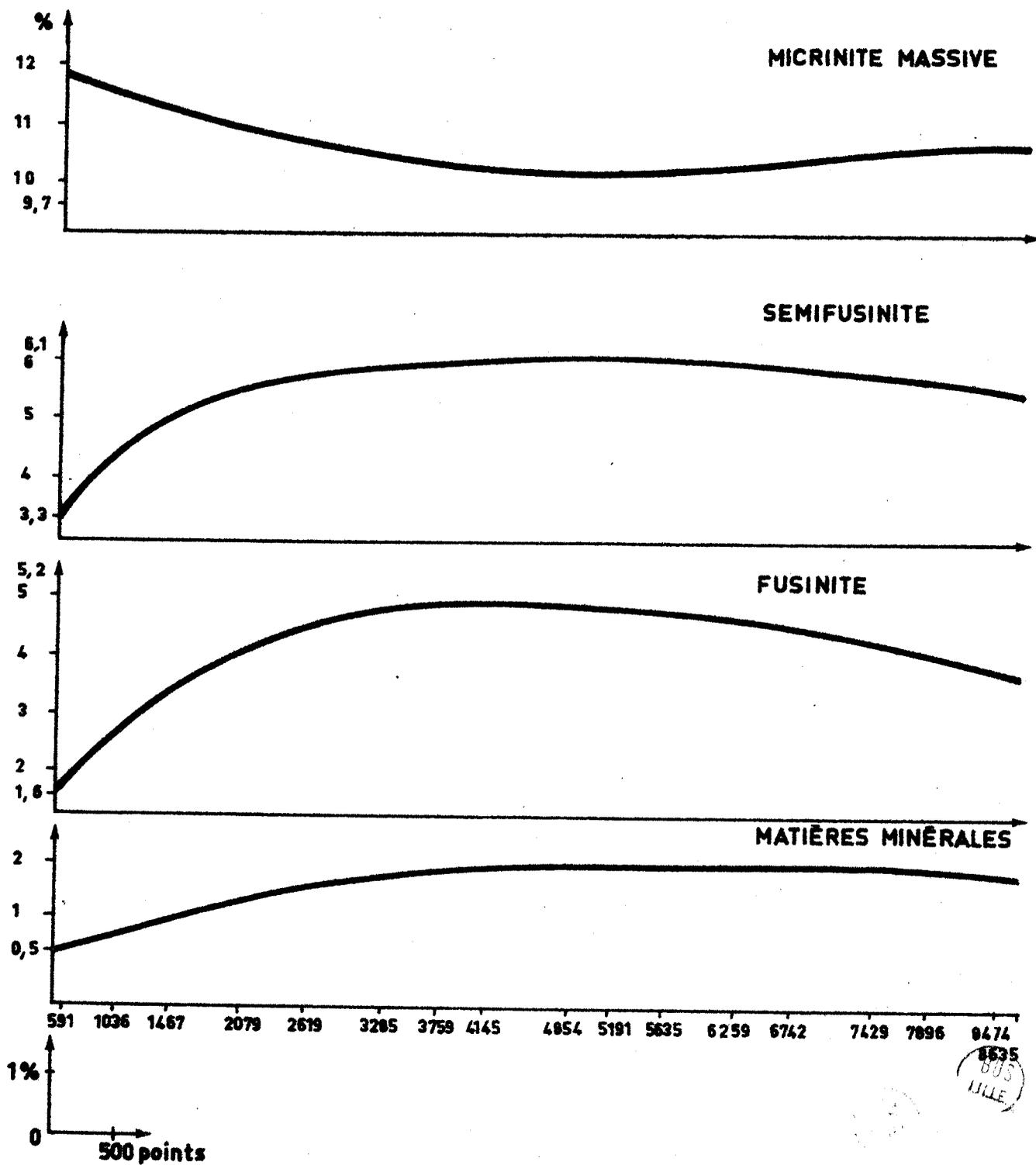


Fig. 16. — VARIATIONS DES POURCENTAGES DES MACÉRAUX ET DES MINÉRAUX EN FONCTION DU NOMBRE DE POINTS COMPTÉS — (Espacement 0,1mm)

changeant d'origine (points ou lignes paires ou impaires) plusieurs séries de résultats à partir du seul comptage primitif. En prenant pour référence le comptage du plus grand nombre de points répartis selon un espacement minimal, on peut alors apprécier pour chaque comptage selon un espacement de 0.2, 0.3, 0.4 et de 0.5 mm :

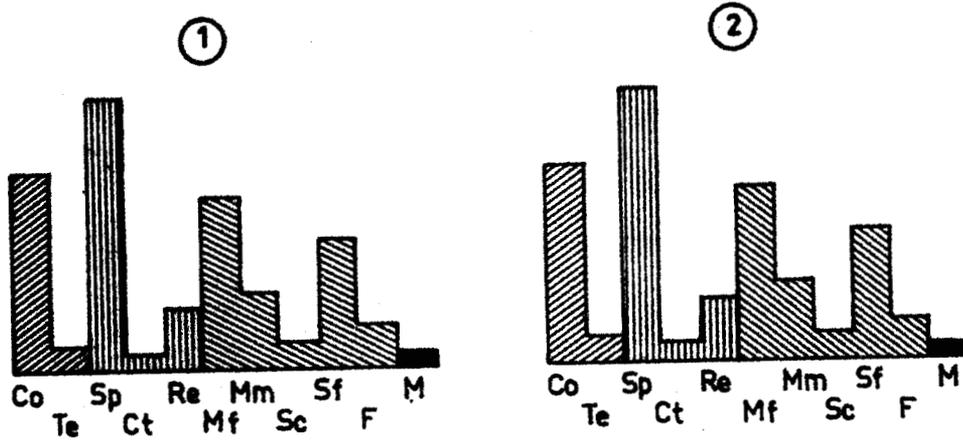
- le nombre minimal de points à compter à partir duquel les résultats obtenus sont invariables,
- l'erreur absolue constatée pour ce nombre de points en précisant sa valeur maximale pour chacun des macéraux,
- le nombre minimal de points à compter à partir duquel l'allure du diagramme VEI est acquise avec l'erreur absolue la plus petite possible fixée arbitrairement à 1 %.

Ainsi pour un espacement des points et des lignes de 0.1 mm il a été possible d'analyser 8635 points sur un échantillon moyen en grains représentatif de la veine Rosalie. Après ce comptage complet, il a été effectué des comptages partiels tous les 500 points environ. Pour chaque résultat partiel la composition macérale et les pourcentages en V, E et I ont été calculés. A la fin du comptage de 0.1 mm en 0.1 mm on pouvait donc disposer des 17 comptages partiels représentés sur les figures 13 et 14.

L'examen des histogrammes montre que ceux-ci ont des allures similaires et qu'à partir du treizième histogramme la superposition est quasi-parfaite.

En adoptant une échelle plus grande (fig. 15 et 16), on peut suivre très exactement les variations des apparitions de chacun des macéraux. Si l'on accepte une marge d'erreur de 1 % on voit que les résultats sont satisfaisants à partir du comptage de 5500 points avec un espacement de 0.1 mm. Au delà de 5500 points les variations enregistrées sont inférieures à 1 %.

Les pourcentages en V, E, et I varient, quant à eux, assez nettement au début du comptage, puis leur valeur se fixe à partir du huitième comptage partiel (4135 points comptés). En définitive, pour un comptage de 5500 points, la précision de la composition en groupe de macéraux est donc excellente.



Comptages

① 500 points
Espacement 0,5mm

② 8635 points
Espacement 0,1mm

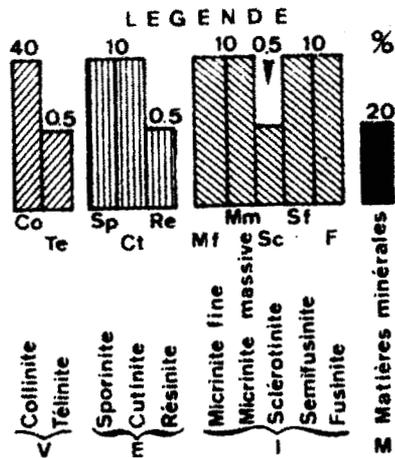


Fig. 17. — COMPOSITION MACÉRALE D'UN ÉCHANTILLON MOYEN. —

J'ai résumé tous les résultats obtenus lors des comptages particuliers espacés de 0.1 à 0.5 mm tous les 1/10 de mm dans le tableau 4.

Espacement (mm)	Total des points comptés	Composition macérales valables à partir de	Erreur consentie	Diagramme V.E.I acquis à partir de
0.1	8635	5500	1 %	4135
0.2	4 x 2100	1500	1 %	1500
0.3	≈ 9 x 1000	750 ----- 1000	≈ 2 % 1 %	1000
0.4	≈ 16x540	450	≈ 2 %	450
0.5	24 x 340	340	< 3 %	340

Tabl. 4 - Résultats de comptages particuliers.

Pour un espacement de 0.3 mm par exemple, on a pu, à partir du comptage de 0.1 en 0.1 mm, en effectuant des changements d'origine, réaliser neuf comptages d'environ 1000 points chacun. En tolérant une erreur d'environ 2 % la composition macérale est acquise à partir du comptage de 750 points. Si on compte 1000 points, l'erreur commise sur l'appréciation de la composition macérale s'abaisse à 1 % et la teneur en V, E et I est obtenue avec une grande précision.

Dans ces conditions, il était intéressant de comparer les résultats obtenus à partir d'un comptage de 8635 points espacés de 0.1mm et ceux obtenus après un comptage de 500 points espacés de 0.5 mm. L'examen de la fig. 17 montre que les deux histogrammes obtenus sont tout à fait comparables et il apparaît que le comptage de 500 points est une méthode prudente offrant une marge de sécurité importante. En effet, le comptage de 340 points sur un échantillon moyen de la veine Rosalie permet déjà d'obtenir des résultats entachés d'erreurs inférieures à 3 %. A l'aide

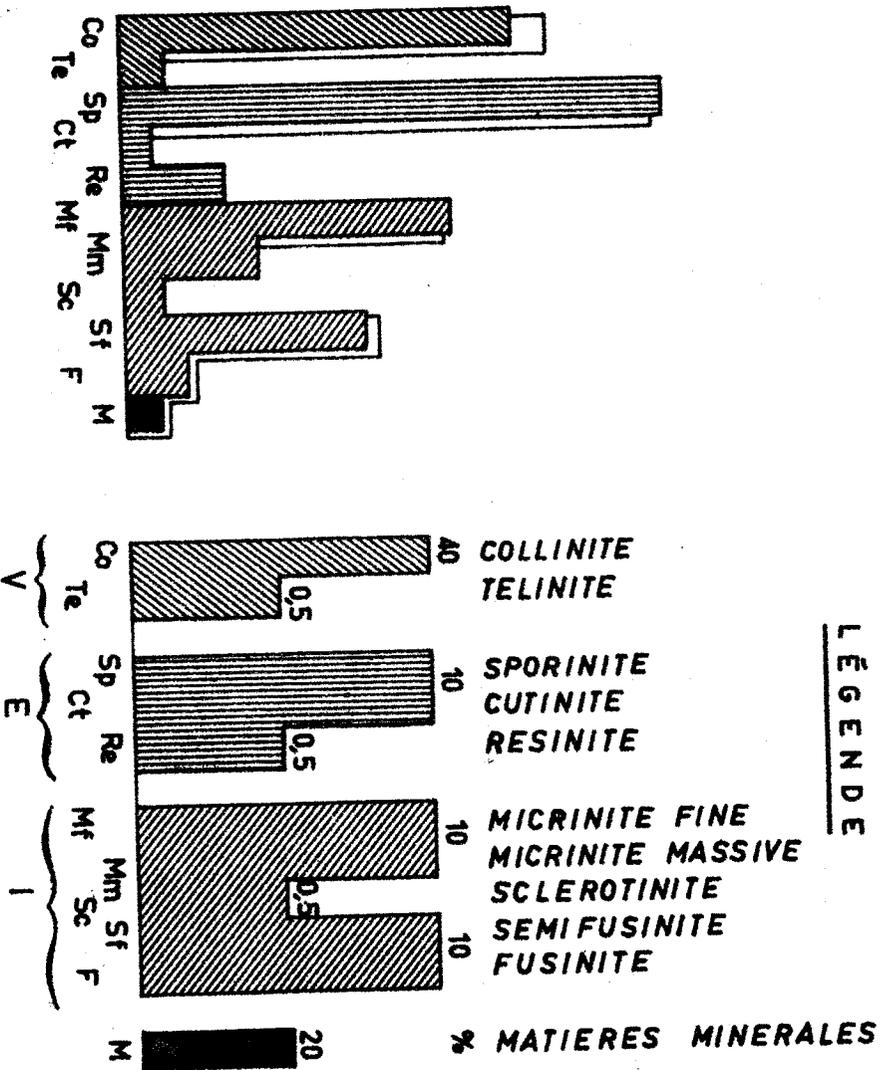


Fig. 18. — COMPARAISON DES COMPOSITIONS MACÉRALES DE L'ÉCHANTILLON MOYEN ET DE LA MOYENNE ARITHMÉTIQUE DES ÉCHANTILLONS.

1955
A.E.

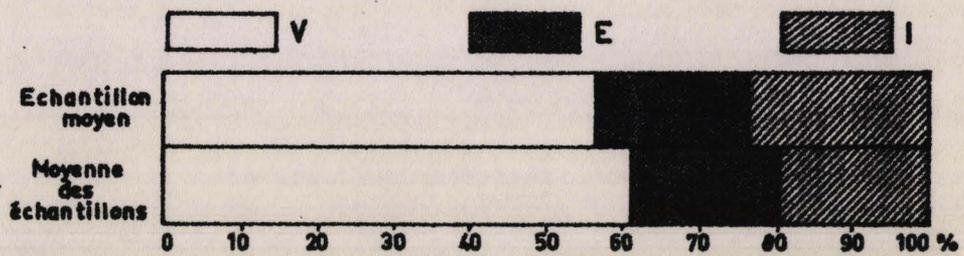


Fig. 19. — COMPARAISON DES COMPOSITIONS GLOBALES EN V,E,I.

BUS
LILLE

de la méthode des 500 points espacés de 0.5 mm, les résultats sont donc suffisamment précis et constants pour des analyses courantes.

3. Echantillon moyen et moyenne arithmétique des échantillons (fig. 18)

La veine Rosalie constituée d'un charbon peu évolué a été divisée lors de l'échantillonnage en 13 fragments superposés dans le gisement. La figure 18 montre les résultats obtenus en réalisant un comptage de 500 points espacés de 0.5 mm sur un échantillon moyen en grains d'une part et ceux obtenus en calculant la moyenne arithmétique des résultats partiels des comptages de 500 points espacés de 0.5 mm sur chacun des 13 échantillons d'autre part. Les deux histogrammes sont pratiquement superposables.

Par ailleurs, la figure 19 montre que les compositions globales en V, E et I obtenues à partir d'un échantillon moyen ou de la moyenne arithmétique des analyses de n échantillons sont tout à fait semblables. Il est important de signaler ce fait qui autorise toutes comparaisons entre les histogrammes obtenus par l'une ou l'autre méthode.

L'intérêt essentiel de l'étude d'un pilier complet est de mettre en évidence les variations verticales des compositions macérales de la veine. Mais il n'est pas toujours possible de disposer de tels prélèvements car certaines veines sont inaccessibles actuellement. J'ai donc utilisé des échantillons moyens conservés dans la lithothèque des H.B.N.P.C. (prélèvement 3 du siège 3 de Bruay par exemple).

III. LES COMPOSITIONS MACÉRALES DES VEINES ETUDIÉES

A la lumière des résultats figurés et commentés en annexe j'ai analysé les veines de houille prélevées au voisinage immédiat du Tonstein Patrice, les veines Jeanne et Emilie du groupe de Lens-Liévin et celles rencontrées dans le sondage Loos 5. Pour chacune d'elles, j'ai étudié successivement :

- les variations globales de leurs teneurs en Vitrinite, Exinite et Inertinite,
- les variations verticales et latérales de leurs teneurs en Vitrinite, Exinite et Inertinite,

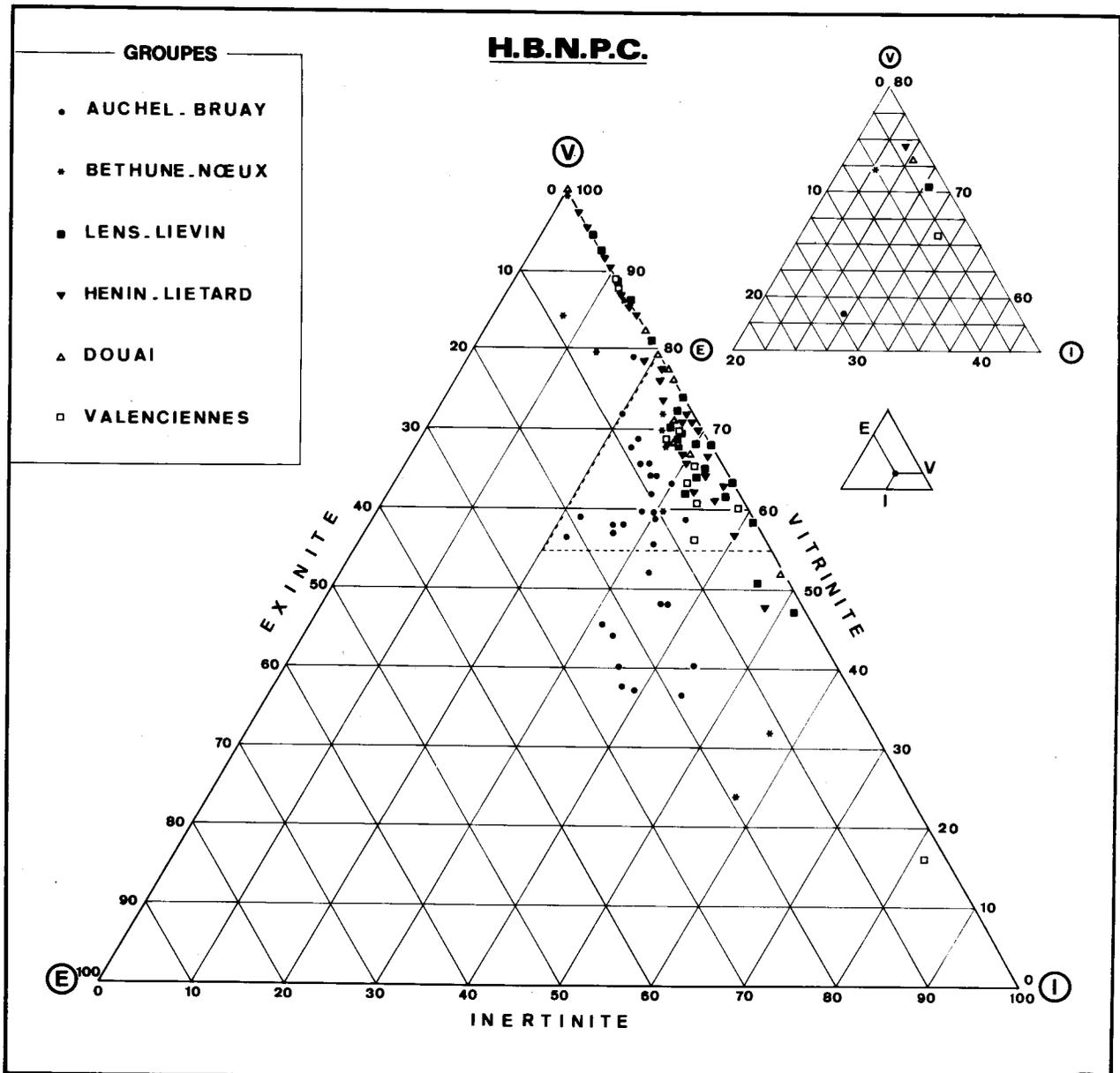


Tableau 5. — COMPOSITION MOYENNE DES VEINES SITUEES AU VOISINAGE DU TONSTEIN PATRICE DANS LES DIFFERENTS GROUPES DU BASSIN.

BUS
VILLE

- l'évolution macérale verticale et latérale du dépôt pour chaque prélèvement effectué.

1. Compositions pétrographiques des veines de houille prélevées au voisinage du Tonstein Patrice sur toute l'étendue du bassin

A. Variations des teneurs en Vitrinite, Exinite et Inertinite

1. Variations globales

L'étude des failles ayant affecté le gisement dans les horizons qui nous intéressent a montré que les déplacements tangentiels sud-nord sont toujours de faible amplitude (A. Bouroz et M. Stiévenard, 1958, p. 170). Cette valeur peut être négligée eu égard à la dispersion géographique des prélèvements. Il nous est donc permis d'étudier globalement les variations des teneurs en Vitrinite, Exinite et Inertinite des charbons prélevés d'Auchel-Bruay à Valenciennes. J'ai distingué, rappelons le, dans le bassin 3 régions : une région occidentale, une région centrale et une région orientale. J'ai été amené à reporter sur le diagramme triangulaire du tableau 5 la composition globale de toutes les veines étudiées en les affectant d'un figuré par groupe d'exploitation.

Il apparaît que :

- les charbons du groupe d'Auchel-Bruay se différencient nettement de ceux des autres groupes d'exploitation. Ils contiennent en effet 14.7 % d'exinite alors que les charbons des autres groupes voient leur teneur en exinite osciller de 1.5 à 5.1 %. Leur teneur en vitrinite est égale à 58.1 % tandis que dans les autres groupes, les charbons en contiennent de 68.3 % à 74 % .
- les teneurs en inertinite sont pratiquement constantes dans tous les charbons étudiés (25.5 % en moyenne).

Il semble que la région occidentale du bassin ait constitué une aire de dépôt privilégiée où l'accumulation des spores a été plus importante que partout ailleurs dans le bassin. Par contre, il apparaît que les dépôts des matériels ligneux ont été du même ordre de grandeur au même moment de l'Ouest à l'Est du bassin.

Cela constitue des résultats d'ensemble et, bien entendu, dans le détail, il existe des variations insensibles des compositions pétrographiques des houilles, tant latéralement que verticalement dans une même veine.

2. Variations verticales et latérales

a. Dans la partie occidentale du bassin

Dans le massif des charbons demi-gras et quart-gras au Vieux 2 de Marles (tabl. 2, prélèvement 1), les dépôts phytogènes sont constitués par les veines Rosalie, Amélie et Rufine. J'ai pu étudier ces 3 veines avec beaucoup de précision. La proportion d'exinite y est très élevée. Les dépôts commencent en effet par un niveau renfermant près de 14 % d'exinite et plus de 25 % d'inertinite. Le mur de la veine Rosalie (fig. Ic

(1) présente une composition pétrographique très voisine de la composition moyenne des veines du groupe. Puis les pourcentages augmentent progressivement en E et I jusqu'au niveau 6 pour diminuer vers le toit. Au mur de la veine Amélie (fig. I b) les dépôts renferment d'emblée une forte proportion d'exinite. Ce pourcentage diminue rapidement pour osciller autour d'une valeur moyenne égale à 14 %. A partir de ce moment la composition pétrographique du dépôt se traduit par des modifications des proportions du matériel inertinitique. Ainsi au niveau 9, la composition de la veine Rufine (fig. I a) montre une teneur en tissus ligneux devenant importante alors que la tendance générale à ce niveau allait vers une diminution des apports de ces constituants.

La composition macérale des trois veines est relativement homogène. Cependant on constate une augmentation des pourcentages en exinite et en inertinite du mur de Rosalie jusqu'au niveau 15 d'Amélie puis un appauvrissement faible et progressif des proportions de l'exinite alors que le pourcentage d'inertinite subit peu de fluctuations. Plus au Sud-Est (prélèvement 2, F2) ou plus au Sud (prélèvement 4, F6) seules les veines Rosalie (fig. I d, 205 et 138) et Amélie (fig. I d, 204 et 141) ont pu

(1) Les figures numérotées I à X se trouvent rassemblées dans le volume annexe.

être étudiées et ceci à partir d'échantillons moyens ; l'analyse macérale a donc été ici moins détaillée. Cependant on observe les mêmes variations d'ensemble qu'au Vieux 2^{de} Marles. Au mur du Tonstein Patrice, de 205 vers 204 et de 138 vers 141, il y a une diminution des pourcentages des matériels des groupes de l'inertinite et de l'exinite compensée par des augmentations de ceux des composants vitrinitiques. Malheureusement je n'ai pas pu disposer ici d'échantillons de la veine Rufine.

Plus au Sud-Est, à la fosse 3 du groupe d'Auchel-Bruay (prélèvement 3, fig. Ie) les variations verticales en V, E et I accusent les mêmes tendances. La série prélevée y est plus complète et l'échantillon 225 récolté ici au mur de Rosalie (224) a pu être suivi jusqu'au siège 6 de Bruay. Les pourcentages en inertinite et en exinite croissent au fur et à mesure que l'on se rapproche du mur de Patrice, puis un peu avant le dépôt du Tonstein Patrice on constate une diminution des teneurs en tissus ligneux et bitumineux. Les proportions de ces matériels dans la lagune se stabilisent alors aux environs de 28 % (I) et de 10 % (E).

Au siège de 4 de Bruay (prélèvement 5, fig. I f et I g), le Tonstein Patrice se trouve dans la deuxième passée (16 P2) située au mur de la 16° veine. La première veine étudiée (17 bis) correspond à la passée au mur de Rosalie des prélèvements effectués plus au Nord-Ouest. Cette veine renferme un fort pourcentage de corps figurés tant du groupe de l'inertinite que du groupe de l'exinite. Cet épisode basal est de courte durée et au niveau 7 on observe une grande quantité de vitrinite. Ce phénomène brutal s'estompe rapidement et on remarque alors que les veines 17 bis et 17 ont subi une évolution générale comparable à celle constatée dans les prélèvements précédemment décrits. Toutefois la base de la 17 ème veine contient un pourcentage élevé de ciment. Au niveau du Tonstein Patrice, la quantité d'exinite est importante. Elle oscille aux environs de 15 et 20 %. Puis les accumulations végétales s'appauvrissent en inertinite et en exinite comme l'attestent les analyses de la première passée sous la 16è veine et celles de la 16è veine. Les résultats des analyses macérales des cinq veines prélevées au siège 6 de Bruay (prélèvement 6, fig. I h) rendent bien compte de l'allure générale des caractères de l'accumulation phytogène : un enrichissement suivi d'un appauvrissement

en exinite et inertinite. Le dépôt du Tonstein Patrice s'est effectué, ici, au moment où les proportions de corps figurés présents dans la lagune sont les plus élevées.

Au siège 7 de Noeux (prélèvement 7, fig. 1j) les variations verticales présentent les mêmes caractères. Toutefois l'amplitude du phénomène est plus grande et la veine à fort pourcentage en débris organisés (Cannel-coal (1)) était déjà formée quand la pluie de cendres volcaniques s'est abattue sur la lagune (Patrice). Les horizons à fort pourcentage en exinite étant situés au 7 de Noeux au mur du Tonstein Patrice, et au 6 de Bruay au niveau de Patrice, il semble qu'il y ait eu une migration du Sud-Est vers le Nord-Ouest de ce phénomène sédimentaire. Les sept prélèvements effectués dans la partie occidentale du bassin présentent par ailleurs un intérêt important. Ils sont tous situés dans le massif des charbons demi-gras et quart-gras. Remarquons encore qu'ils sont alignés du Nord-Ouest au Sud-Est et régulièrement espacés (tabl.1). On y remarque une évolution verticale du dépôt phytogène présentant une allure générale identique du Vieux 2 de Marles (prélèvement 1) au Siège 7 de Noeux (prélèvement 7). L'analyse macérale des 5 veines ou passées situées au voisinage du Tonstein Patrice a montré que :

- les proportions d'exinite et d'inertinite (corps figurés) augmentent d'abord progressivement de la base vers le haut jusqu'à un maximum situé au-dessous de Patrice ou à son voisinage, puis on constate un appauvrissement des pourcentages en exinite et inertinite au fur et à mesure que l'on monte dans la série,
- l'amplitude de ce phénomène varie d'un point à un autre,
- ces enrichissement et appauvrissement successifs sont plus perceptibles dans l'évolution verticale des teneurs relatives en corps figurés du groupe de l'inertinite que dans celle du groupe de l'exinite,

(1) Cette veine a été baptisée Cannel-coal dans le gisement de Noeux. En réalité il ne s'agit pas d'un Cannel-coal au sens pétrographique du terme.

- en ce qui concerne les charbons renfermant des proportions importantes de macéraux des groupes de l'exinite et de l'inertinite, on note que ces niveaux particuliers ne se sont pas déposés partout au même moment. Ainsi, aux Sièges 4 et 6 de Bruay (prélèvements 5 et 6) ils coïncident à la sédimentation du matériel ayant donné naissance au Tonstein Patrice. Par contre, au Vieux 2 de Marles, aux sièges 2 et 6 d'Auchel, au 3 de Bruay et au 7 de Noeux (prélèvements 1,2, 3, 4, et 7), ces horizons à fort pourcentage en exinite et en inertinite se situent peu de temps avant le dépôt du Tonstein. D'un point à un autre du bassin, on retrouve au voisinage de Patrice les mêmes variations des caractères sédimentologiques. Mais, un niveau donné présente un certain nombre de variations latérales s'inscrivant dans l'allure générale des fluctuations des dépôts.

Enfin, en se reportant à la figure 2, et plus particulièrement à la figure 2a, représentant l'allure du fond du bassin au moment du dépôt du Tonstein Patrice compte tenu de la compaction des dépôts stériles et phytogènes, on constate que les endroits où l'abondance relative de corps figurés déposés est la plus grande correspondent à des zones de faible profondeur. Tout se passe comme si le gel colloïdal s'était de préférence sédimenté dans les zones profondes.

b. Dans la partie centrale du bassin

Les prélèvements effectués dans le massif des charbons gras sont dispersés et assez éloignés les uns des autres. Toutefois il a été possible de suivre les variations des compositions macérales des veines voisines du Tonstein Patrice.

Ainsi, à la fosse 13 de Noeux (prélèvement 8) l'analyse des houilles allant des passées (niveaux 14 et 13 de la fig. 1k) situées au mur de St Bencit (niveaux 12 à 8 de la fig. 1k) jusqu'au toit de la veine Bienvenue (niveaux 5 à 1) a montré une succession de dépôts présentant des caractères assez différents de ceux décrits plus à l'Ouest (prélèvement 7). En effet, la proportion d'exinite décroît tandis que les pourcentages en vitrinite augmentent. En suivant particulièrement les variations des teneurs en inertinite on constate que les dépôts voient les pourcentages des corps de ce groupe augmenter progressivement du mur au toit du Tonstein, passer

ensuite par un minimum (niveau 6) interrompu localement (niveau 7) par une récurrence de débris organisés, pour s'enrichir à nouveau en inertinite au fur et à mesure du dépôt de la veine Bienvenue.

Plus à l'Ouest, au siège 5 de Béthune (prélèvement 9, fig. II) les variations verticales de la veine Marcellin correspondent à celles de la veine St Benoit en présentant toutefois des teneurs en exinite moins importantes. Ici, l'analyse de la veine Marcelline permet de préciser la nature et les variations verticales du dépôt au mur du Tonstein Patrice, complétant en cela les observations du prélèvement 8 du siège 13 de Noeux. Ainsi, la veine Marcelline correspond à une augmentation des teneurs en matériel des groupes de l'exinite et de l'inertinite puis à leur diminution au fur et à mesure que l'on se rapproche du toit. En rassemblant les observations faites au 13 de Noeux et au 5 de Béthune, il apparaît que les pourcentages des accumulations de constituants organisés présentent trois maximums, le premier correspond au dépôt de la veine Marcelline, le second à celui de la veine St Benoit-Marcellin, et le troisième à celui de la veine Bienvenue.

Les analyses effectuées au siège 19 de Lens (prélèvement 10, fig. I m) permettent de mettre en évidence les mêmes caractères sédimentologiques. Là les dépôts de la veine Marthe, de la passée 184 située, comme les sillons supérieurs de la veine Marcellin, au toit du Tonstein Patrice, et du sillon supérieur de la veine Hyacinthe (186) correspondant probablement en partie à la veine Bienvenue, contiennent en effet un pourcentage important de matériel du groupe de l'inertinite.

Ainsi, dans le massif des charbons gras, du puits 13 de Noeux au siège 19 de Lens en passant par le siège 5 de Béthune on note une constance du sens des variations des pourcentages des accumulations végétales au voisinage du Tonstein Patrice. En examinant les résultats des analyses des charbons prélevés plus au Nord et plus à l'Est, on constate que ces caractères particuliers des dépôts du combustible s'étendent à tout le massif des charbons gras et se retrouvent au-delà de celui-ci dans des houilles prélevées plus à l'Est du bassin.

Plus au Nord, au siège 12 de Lens (prélèvement 12, fig. Ip) les veines Marthe, l'ensemble des passées 197, 193, 191 et Hyacinthe contiennent comme dans les cas précédents une forte proportion de matériel du groupe de l'inertinite.

Toutefois, il faut noter qu'ici, au moment du dépôt du Tonstein Patrice, un fort pourcentage de débris ligneux était déjà accumulé. Au même moment, plus au Sud, le matériel ayant donné naissance au Tonstein s'est déposé sur des sédiments présentant des proportions faibles de matériel ligneux (cf. prélèvement 10 du 19 de Lens). Dans le même temps, plus au Nord, au siège 13 (1) de Lens (prélèvement 11, fig. In) l'analyse des niveaux inférieurs au Tonstein a montré que là, Patrice s'est sédimenté sur des matières végétales à fort pourcentage en inertinite. On constate donc du Nord vers le Sud selon le méridien de Lens, au mur de Patrice, une diminution des proportions de matériel ligneux. Plus à l'Est, en examinant la nature des dépôts des puits 2 de Lens (prélèvement 13, fig. Iq et Ir) et 21 Nord (prélèvement 14, fig. Is) on constate une similitude frappante des variations verticales des accumulations végétales. On note à trois reprises la présence de niveaux à forte teneur relative en débris ligneux. Le premier correspond aux passées P 1 du 2 de Lens et 328, 337, 341 et 357 du 21 Nord. Le second va de P4-2 à P2-1 au 2 de Lens et de la passée 387 à la passée 431 au 21 Nord. Ces deux maximums s'infléchissent en leur centre aux niveaux P1 - 7/5 et P2 - 4/3 du 2 de Lens et en 341 et 425 du 21 Nord. La deuxième inflexion était déjà perceptible plus à l'Ouest (puits 12 de Lens) au niveau 193 du prélèvement 12. Il apparaît donc que la moindre fluctuation dans les mécanismes des dépôts phytogènes ait affecté des surfaces relativement importantes. Le troisième niveau correspond aux veines Hyacinthe inférieure (P 3) et Lazare (441).

Le prélèvement 15 effectué au siège 4 Sud du groupe d'Hénin-Liétard à moins 915 m (Frg 011) a recoupé deux fois la même série (fig. It). Pour la bonne compréhension de la figure It il est utile de consulter le

(1) Le prélèvement 11 appartient au massif des charbons maigres et quart-gras.

tableau 2 montrant la position des prélèvements par rapport au Tonstein Patrice qui est affecté ici par des failles entraînant son redoublement.

Ce redoublement de série ne m'avait pas été signalé. Toutefois la répétition des mêmes variations de compositions macérales des veines et passées étudiées traduisent bien ce phénomène. Là encore, on note des natures et des allures du dépôt semblables à celles observées dans les prélèvements plus septentrionaux (13 et 14). Cependant, ici, les pourcentages de matériel du groupe de l'exinite sont moins abondants. Plus à l'Est, les analyses macérales révèlent elles aussi une diminution des proportions d'exinite. A partir de ce point, la série stratigraphique étudiée au toit du Tonstein Patrice concerne un nombre de niveaux moins important. Au mur de Patrice, rappelons-le, il a été possible de suivre la première veine du Vieux 2 de Marles à la fosse 8 de l'Escarpelle (cf. tabl.2). On constate au moment du dépôt du Tonstein, au puits 4 Sud (fig. It) comme au 2 Est (prélèvement 16, fig. Iu) ou au siège 8 de l'Escarpelle (prélèvement 17, fig. Iv) de faibles proportions de corps organisés. Dans les trois cas, ces horizons particuliers sont compris entre des niveaux à fort pourcentage en débris inertinitiques. Le puits 4 Sud (prélèvement 15) du groupe d'Hénin-Liétard appartient, rappelons-le, au massif des charbons gras, alors que le puits 2 Est du même groupe d'exploitation et le siège 8 de l'Escarpelle (groupe de Douai) sont situés dans le massif des charbons demi-gras et quart-gras. Au niveau du Tonstein Patrice, les accumulations de combustibles présentent non seulement les mêmes faciès, mais encore les mêmes variations verticales. Dans cette région, les houilles du massif des charbons gras et celles appartenant au massif des demi-gras et quart-gras présentent des caractères pétrographiques fort voisins. Ceci est précisément en accord avec ce que l'on sait de l'allure de la faille de Gavion qui s'amortit progressivement ici.

Par contre, à l'Ouest comme nous avons pu le voir, il existe des différences sédimentologiques bien tranchées entre les dépôts de la fosse 7 de Noeux (prélèvement 7) situés à l'Ouest de la faille de Gavion dans le massif des charbons demi-gras et quart-gras, et ceux de la fosse 13 de Noeux (prélèvement 8) situés, eux, à l'Est de cette faille et appartenant au massif des charbons gras.

c. Dans la partie orientale du bassin

Le massif de Courcelles-Wallers-Vicq, rappelons-le, est le prolongement oriental du massif des charbons demi-gras et quart-gras. Il a été étudié dans la région franco-belge à la fosse Cuvinot (Couchant Sud) du groupe de Valenciennes. Les figures Iw, Ix, Iy et Iz représentent les résultats des analyses macérales des veines et passées prélevées en 5^è série à moins 360 m (prélèvement 18) et en 3^è série à moins 420 m (prélèvement 19). Dans les deux cas, on remarque des accumulations à forte proportion d'inertinite correspondant respectivement aux passées 526 et 454, au sommet de la 19^è veine et à la majeure partie de la 20^è veine. Il y a donc, dans ces deux séries, des analogies dans les évolutions verticales des accumulations en dépit du nombre différent de veines ou passées fossilisées. Toutefois, en troisième série les dépôts présentent des pourcentages en inertinite légèrement plus importants.

En raison de la grande distance (plus de 40 km) séparant les dépôts orientaux du groupe de Valenciennes et ceux de la partie occidentale du groupe de Douai (fosse 8 de l'Escarpelle) il est très difficile d'établir des corrélations certaines entre les veines. Cependant, en comparant les figures Iv, I (w + x) et I (y + z), on note une similitude frappante dans l'allure verticale des dépôts, particulièrement au voisinage immédiat du Tonstein Patrice. Au mur de ce dernier, les compositions macérales des passées 1550, 526 et 454 montrent des pourcentages exceptionnels de débris ligneux. Par ailleurs, la sédimentation de Patrice s'est effectuée sur des dépôts phytogènes présentant des caractères rigoureusement identiques dans les trois cas. Au toit du Tonstein les apports sont analogues tant par leur nature que par leurs proportions.

d. Conclusions

Les analyses macérales et sédimentologiques montrent que, verticalement :

- la composition des veines de houilles est très homogène. Cependant le faciès de la veine n'est pas acquis d'emblée et le mur présente bien souvent des proportions importantes de substances colloïdales,

- les passées minces sont, la plupart du temps, composées d'un mélange de ciment et d'argile, les débris organisés y étant très rares,
- le Tonstein Patrice ne constitue pas une coupure dans la sédimentation phytogène,
- la composition macérale des veines et passées traduit la nature pulsée des apports de matériel organisé dans la lagune houillère.

Latéralement :

- Dans la région de Noeux la différence des fluctuations sédimentaires constatées dans les dépôts à l'Ouest de la faille de Gavion (fosse 7 de Noeux) et ceux situés à l'Est de celle-ci (fosse 13 de Noeux) nous incite à placer à cet endroit une limite pétrographique dont la cause précise reste à déterminer. J'évoquerai plus loin cette question particulière. Au contraire, dans la région d'Hénin-Liétard, la similitude des variations sédimentaires observées dans les accumulations végétales situées de part et d'autre de la faille Gavion (siège 4 Sud et 2 Est du groupe d'Hénin-Liétard) montre en cet endroit une continuité dans les phénomènes sédimentologiques.
- L'étude des fluctuations des apports permet de mettre en évidence certaines corrélations. Celles-ci s'établissent parfois entre des veines, des parties de veines et des passées. C'est ce que précisent souvent, par des méthodes différentes, les études palynologiques des combustibles solides. L'étude macérale permet, en outre, d'élucider les conditions de dépôt malgré des variations quelquefois brutales d'épaisseur des veines.

B. Composition macérale

L'analyse des teneurs en vitrinite, exinite et inertinite des veines de houille rencontrées au voisinage du Tonstein Patrice a permis de mettre en évidence les principaux aspects sédimentologiques du dépôt. La composition macérale permet, elle, de préciser les faits et d'entrer dans le détail des variations verticales et latérales de faciès.

J'étudierai par conséquent successivement les compositions macérales des combustibles composant les veines Rosalie, Amélie et Rufine ou leurs homologues.

1. Variations verticales

Les figures IIa à IIx et IIIa à IIIv de l'annexe montrent clairement l'évolution verticale des proportions en macéraux que renferment les veines étudiées. J'étudierai successivement les prélèvements effectués dans chaque région du bassin comme je l'ai fait lors de l'étude des variations des groupes de macéraux V, E et I. Chaque tableau numéroté III présente dans la colonne de droite un histogramme. Ce dernier permet en un seul coup d'oeil de voir si le dépôt est homogène ou non. Par ailleurs, on peut avoir une meilleure idée de la nature exacte des macéraux et de leur distribution dans les groupes V, E et I en se reportant aux figures numérotées II.

a. Dans la région occidentale du bassin

Dans cette région, les dépôts phytogènes de même faciès V.E.I appartiennent au massif tectonique des charbons demi-gras et quart-gras.

Rappelons que ces combustibles sont constitués par près de 58 % de vitrinite, plus de 14 % d'exinite et 26 % environ d'inertinite.

Presque toute la vitrinite est constituée de collinite (plus de 55 % sur 58 %). La télinite y est rare. L'exinite est presque essentiellement représentée par la sporinite (13 % sur 14 %). La cutinite (0.6 %) et la résinite (0.6 %) peuvent être considérées comme des macéraux accessoires. La micrinite fine (plus de 10 %), la micrinite massive (5 %), la semifusinite (7 %) et la fusinite (plus de 2 %) constituent la majeure partie de l'inertinite. La sclérotinite (0.1 %) y est rare.

L'examen des analyses macérales de tous les échantillons (fig. IIa à IIg et IIIa à IIIh) des veines de ce massif permet de constater une remarquable homogénéité dans la nature et la distribution relative des macéraux dans ces combustibles. Mis à part quelques rares niveaux particuliers, tous les échantillons présentent le même faciès pétrographique défini précédemment. On remarque aussi que les pourcentages de micrinite

fine sont supérieurs à ceux de la micrinite massive et que les proportions de semifusinite sont en général supérieures à celles de la fusinite.

Certains niveaux font bien entendu exception à cette règle. Ainsi, au puits 6 de Bruay de même qu'au 7 de Noeux, la veine Rufine contient plus de fusinite que de semifusinite. Au prélèvement 1, certains horizons (8 et 9 de Rufine, la base de la veine Amélie et les niveaux 6 et 8 de Rosalie) se distinguent légèrement des autres par des pourcentages en micrinite fine inférieurs à ceux de la micrinite massive. Une différence du même ordre s'observe au niveau du Tonstein Patrice dans deux prélèvements voisins (prélèvements 5 et 6, échantillons 16 P2 et 11).

Cette grande homogénéité du faciès n'exclut pas cependant quelques variations verticales dans la composition des dépôts. Finalement il est important de constater dans cette région que les rapports entre certaines associations macérales restent toujours du même ordre.

L'étude délicate et minutieuse des tableaux représentant l'évolution verticale des caractères pétrographiques (tableaux IIIa à IIIh) des houilles de la région occidentale du bassin permet de constater d'une manière générale que :

- 60 % des variations des pourcentages de la collinite sont directement opposées à celles de la sporinite et de la micrinite massive ,
- 38 % des variations des teneurs en collinite s'opposent à celles des proportions de semifusinite,
- 5 % des variations des proportions de sporinite sont opposées à celles des teneurs en micrinite fine,
- près de 50 % des variations des pourcentages en sporinite de ces combustibles suivent celles des teneurs en micrinite massive,
- 32 % des variations des teneurs en micrinite massive sont directement liées à celles des proportions de semifusinite dans ces combustibles,

- les teneurs en fusinite et semifusinite sont directement mais faiblement liées (7 % environ).

D'une manière générale, on constate que la base des veines ou passées renferme des proportions assez fortes de substances colloïdales.

b. Dans la région centrale du bassin

Les figures IIIh à IIIt et IIIj à IIIr montrent les variations verticales des caractères pétrographiques des charbons de cette région.

Les combustibles appartenant au massif des charbons gras présentent tous, sans exception, des proportions de micrinite fine supérieures à celles de micrinite massive et les variations verticales de ces composants sont peu sensibles. Il est bien difficile de dégager une tendance générale des variations des caractères sédimentologiques. En effet, quelquefois, la veine s'enrichit en corps figurés au fur et à mesure de son épaissement. Les variations verticales des compositions macérales des veines Bienvenue (fig. IIIj) ou Hyacinthe inférieure (fig. IIIp) en sont le témoignage. Le plus souvent le faciès de la veine est acquis d'emblée (veine Marcellin, fig. IIIk). D'une manière générale, on constate que les variations verticales des composants s'effectuent dans des limites assez rapprochées. C'est cette grande homogénéité du mur au toit des veines qui constitue le caractère essentiel du dépôt phytogène.

Cette remarque s'applique encore quand on étudie les variations pétrographiques d'une veine à l'autre. On constate bien une allure générale pulsée des dépôts, mais d'une veine (ou passée) à une autre veine (ou passée) ces variations se font très progressivement. Tout se passe comme si, à un certain moment, le dépôt phytogène a été localement interrompu alors que dans une région voisine du charbon continuait à se former sans que les caractères du dépôt subissent de grandes modifications. Cette constance des caractères pétrographiques en chacun des points considérés atteste que les conditions de vie ont dû bien peu changer au cours du dépôt des houilles voisines du Tonstein Patrice.

J'ajouterai à ces combustibles de la région centrale du bassin les houilles prélevées plus à l'Est aux points 16 (siège 2 Est du groupe d'Hénin-Liétard) et 17 (Fosse 3 de l'Escarpelle). Ces combustibles appartiennent au massif des charbons demi-gras et quart-gras.

Le prélèvement 16 (fig. II_s et III_s) montre, de la veine Geneviève à la veine Berthe, des houilles présentant des caractères pétrographiques peu variés. On note que les passées 709, 717, 719 et 727 sont très cendreuse et de ce fait leurs compositions macérales semblent différentes de celles des veines plus épaisses. En fait, on note une remarquable homogénéité des caractères du dépôt. La collinite y est abondante. Les spores existent en très faible quantité et les pourcentages de micrinite fine sont toujours plus élevés que ceux de la micrinite massive. Les proportions de la semifusinite sont toujours du même ordre que celles de la fusinite. Toutefois, mises à part la passée 719 et la partie supérieure de la veine Berthe (niveaux 1 et 2), les houilles de ce prélèvement sont toujours légèrement plus riches en fusinite qu'en semifusinite.

Le prélèvement 17, situé plus à l'Est, va de la veine Louise (1500) à la 1^o veine au toit du Tonstein Patrice (1587). Les figures II_t et III_t permettent de suivre les variations verticales des combustibles de la fosse 8 de l'Escarpelle. Les houilles des deux veines principales (1^o veine et Louise) et la passée 1550 contiennent des macéraux dont les pourcentages se répartissent de la manière suivante : les proportions de sporinite sont les plus faibles et celles de la micrinite fine sont les plus grandes. Entre ces valeurs extrêmes viennent s'intercaler, par ordre croissant, la micrinite massive, la semifusinite et la fusinite. On peut donc caractériser ces veines par la relation :

$$Sp < Mm < Sf < F < Mf.$$

En revanche les passées 1560 et 1570 sont très riches en cendres (près de 40 %) et les proportions macérales n'y sont apparemment plus les mêmes. En fait, si l'on considère les proportions de vitrinite, d'exinite et d'inertinite dont le calcul ne tient pas compte des teneurs en cendres, il apparaît que ces passées ont des compositions macérales fort voisines des veines principales du prélèvement. Ici encore l'homogénéité est de règle tant dans l'épaisseur des veines que d'une veine (ou passée) à une autre veine (ou passée).

Le prélèvement (11) effectué à la fosse 13 de Lens appartient, lui, au massif des charbons maigres et quart-gras. Il présente des houilles de composition très homogène. En effet, la veine Cinq-Sillons (figures IIIl et IIIm) est constituée de houilles ayant des proportions de micrinite fine supérieures à celles de micrinite massive et des pourcentages de semifusinite plus importants que ceux de fusinite. On remarquera aussi la faible proportion de sporinite. Cependant cette pauvreté en spores ne semble pas caractéristique d'un dépôt septentrional car les charbons des prélèvements effectués plus au Sud (14 et 15) n'en contiennent pas plus.

c. Dans la région orientale du bassin

Les prélèvements 18 et 19 effectués dans la partie orientale du bassin sont très éloignés de ceux de la région centrale.

Les figures IIu à IIx et IIIu à IIIv montrent que tous les charbons, veines ou passées de la fosse Cuvinot, ont des pourcentages de micrinite fine supérieurs à ceux de la micrinite massive. Par ailleurs, si l'on s'en tient aux veines 19 et 20, on constate que presque toutes les analyses ont révélé des proportions de semifusinite supérieures à celles de la fusinite. La 20^e veine de la 3^e série fait exception à cette remarque. Elle comporte en effet des pourcentages de fusinite beaucoup plus importants que les veines et passées sous-jacentes. Je montrerai plus loin que ce fait n'est pas spécifique à certains niveaux de la partie orientale du bassin et que l'étude de la répartition dans l'espace et dans le temps de tels dépôts phytogènes présente un intérêt tout particulier.

L'examen minutieux des figures IIIu et IIIv montre que, d'une manière générale, les compositions macérales des dépôts phytogènes ont peu varié. Cependant, on pourrait croire, en examinant (fig. IIIv) les variations verticales de la fusinite et de la semifusinite dans la 19^e veine, que le Tonstein Patrice constitue une coupure. En effet, sous Patrice (niveaux 5 et 6) les proportions de fusinite et de semifusinite sont faibles (inférieures à 5 %) alors qu'après le dépôt du Tonstein les proportions de ces macéraux passent brutalement (niveau 4) à plus de 10 %.

On peut se demander si ce phénomène est fortuit ou non. C'est pour répondre à cette question que je procéderai maintenant à un examen global des dépôts phytogènes situés au-dessous et au-dessus du Tonstein Patrice.

d. Comparaison des dépôts situés de part et d'autre du Tonstein Patrice

J'ai montré lors de l'étude des variations verticales des teneurs en Vitrinite, Exinite et Inertinite que le Tonstein Patrice ne constituait pas une coupure dans les phénomènes sédimentologiques. Les allures générales verticales des dépôts restent totalement indépendantes de ce niveau particulier. La recherche des corrélations entre les macéraux pris deux à deux en considérant d'une part les combustibles inférieurs à l'horizon de Patrice (niveau 2) et ceux qui se sont déposés après lui d'autre part (niveau 1) a été effectuée au Laboratoire de Calcul de la Faculté des Sciences de Lille.

	Niveau 1	Niveau 2	Macéral corrélé
Sporinite	- 42.7	- 44.6	Collinite
Micrinite fine	- 21.5		
Micrinite massive	- 47.7	- 52.5	
Semifusinite	- 28.5	- 36.4	
Micrinite massive	+ 47	+ 53.8	Sporinite
Semifusinite	+ 26.5	+ 15	Micrinite massive
Fusinite		+ 17.9	Semifusinite

Tabl. 6 - Corrélations intermacérales des niveaux de charbons inférieurs (niveau 2) et supérieurs (niveau 1) au Tonstein Patrice.

J'ai rassemblé dans le tableau 6 les corrélations ainsi obtenues en ne tenant compte que de celles pour lesquelles la crédibilité est égale à 100 % et la probabilité égale à 0.000000. Deux types de corrélations n'apparaissent pas simultanément aux deux niveaux considérés

(Collinite-Micrinite fine et Semifusinite-Fusinite). Les autres corrélations mises en évidence sont de même signe et présentent des valeurs du même ordre de grandeur. La concordance n'est toutefois pas parfaite et les petites disparités quantitatives observées résultent plus de différences du nombre de mesures effectuées pour chacun des niveaux que de variations des caractères pétrographiques dues au dépôt du Tonstein.

e. Conclusions

Les analyses macérales montrent que les houilles situées sur une verticale présentent généralement le même faciès pétrographique. En chaque point considéré, les différentes veines et passées ainsi analysées ont révélé des compositions macérales d'une remarquable homogénéité. La nature et la répartition verticale des composants étudiés isolément ou, grâce aux histogrammes, tous à la fois, sont telles que l'on doit admettre qu'en un point donné les veines montrent du mur au toit une superposition de lits à caractères pétrographiques constants.

Dans ces conditions, il devient intéressant d'étudier les variations latérales des compositions macérales des houilles prélevées au voisinage du Tonstein Patrice. Ce niveau particulier, rappelons-le, ne constitue pas une coupure dans le processus sédimentaire propre au dépôt phytogène et cela confirme bien l'idée que l'origine de ce dépôt est à rechercher ailleurs que dans la lagune houillère.

2. Variations latérales

Dans l'exposé qui va suivre, on notera que seule la veine Amélie (ou son homologue) a pu être analysée sans interruption dans tous les prélèvements effectués. Il n'en va pas de même pour les autres veines. Ainsi, la veine Rosalie n'a pas pu être atteinte au 13 de Noeux (8) au 13 de Lens (11) ni à la fosse Cuvinot de Valenciennes (18 et 19). De la même manière, la veine Rufine manque aux prélèvements 2 (2 d'Auchel), 4 (6 d'Auchel), 9 (5 de Béthune), 11 (13 de Lens) ainsi qu'au 4 Sud (15) et au 2 Est (16) du groupe d'Hénin-Liétard, au 8 de l'Escarpelle (17) à Douai et à Valenciennes, tant en 5° Série (18) qu'en 3° Série (19).

COLLINITE

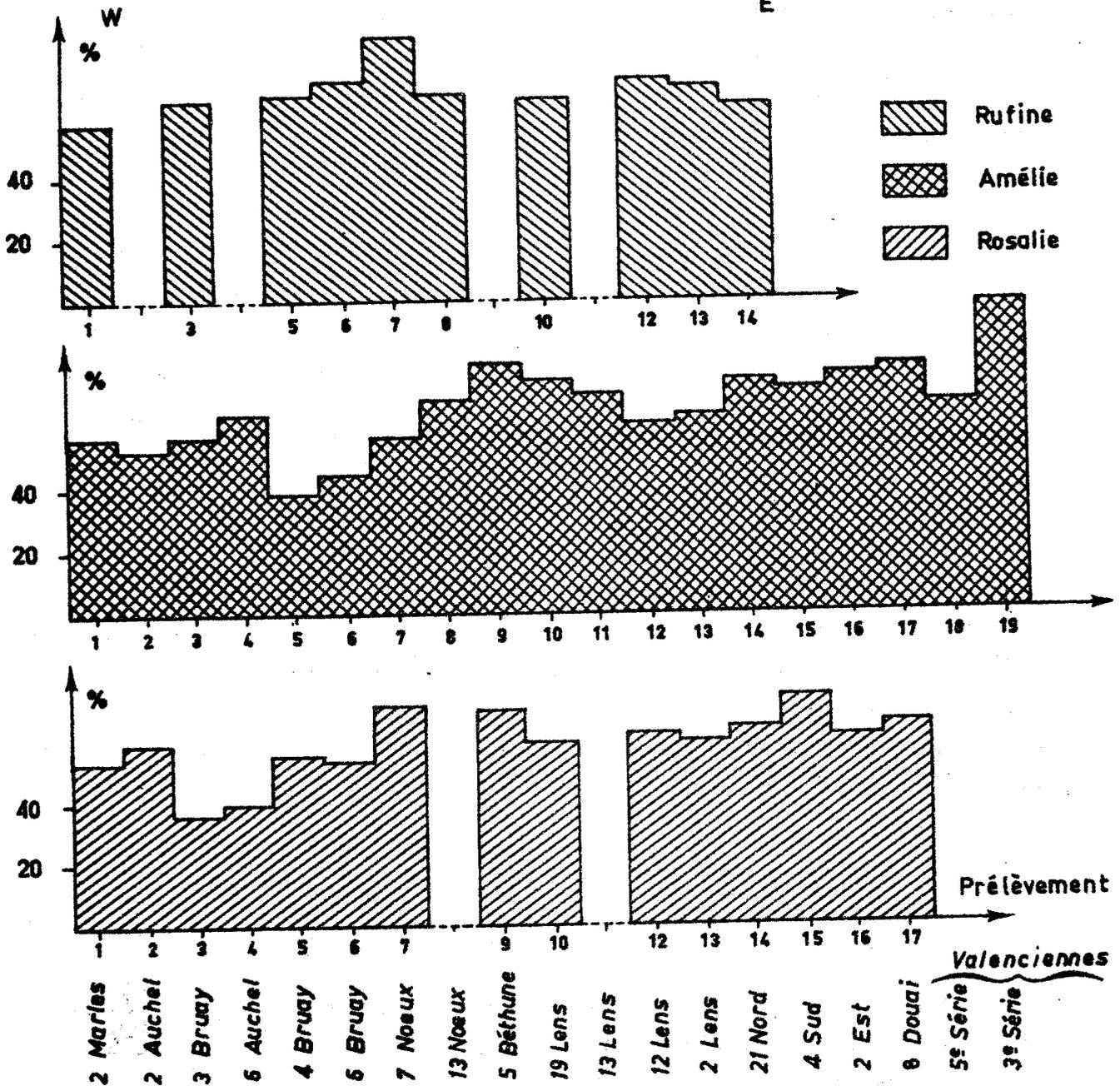


Fig. 20. — VARIATIONS LATÉRALES DE LA TENEUR MOYENNE EN COLLINITE DES VEINES VOISINES DU TONSTEIN PATRICE.

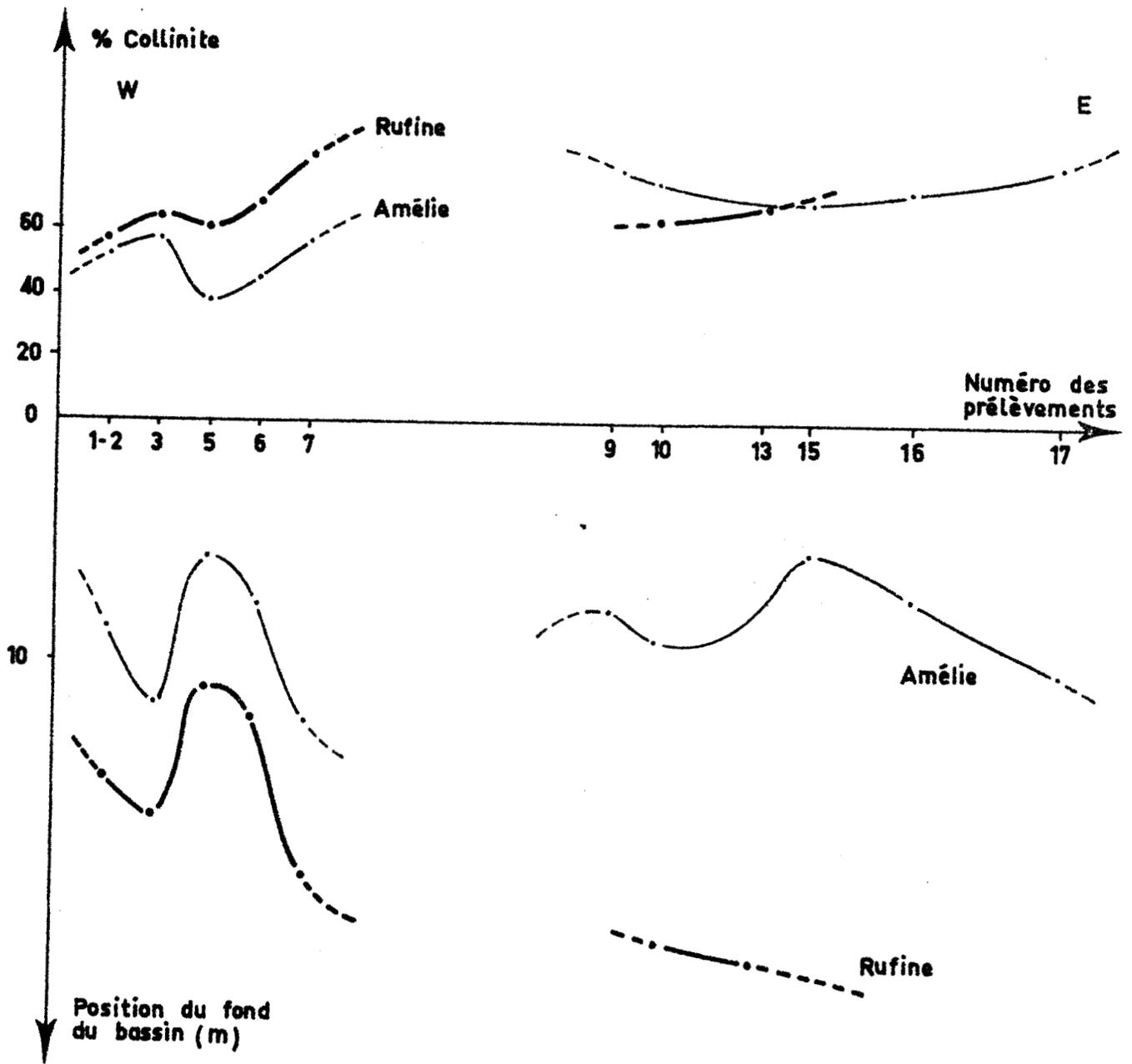


Fig. 21. —

RELATIONS ENTRE L'ALLURE DU FOND DU BASSIN
ET LA PROPORTION DE LA COLLINITE.



Je considérerai tout d'abord les macéraux pris séparément puis j'établirai leurs corrélations et les comparerai d'un point à l'autre du bassin. J'ai représenté les variations latérales des teneurs moyennes en macéraux de ces veines de l'Ouest à l'Est du bassin. Comme l'on révélé les analyses, la télinite, la cutinite, la résinite et la sclérotinite sont des composants accessoires et, de ce fait, je n'ai pas cru utile d'en suivre l'évolution.

a. Les macéraux pris séparément

- La collinite (fig. 20)

D'une manière générale, on note que, pour chacune des veines, les proportions de collinite sont éminemment changeantes d'un point à un autre du bassin sans qu'apparemment aucune loi puisse être dégagée. Toutefois, on remarque une tendance à une légère augmentation de ces pourcentages de l'Ouest vers l'Est plus particulièrement en ce qui concerne les veines Rosalie et Amélie. La veine Rufine renferme, quant à elle, des proportions de collinite dont les variations bien que faibles présentent un intérêt considérable. J'ai représenté sur la fig. 2 l'allure approximative du fond du bassin lors du dépôt du Tonstein Patrice - contenu, rappelons-le, dans la veine Amélie - et lors du dépôt de la veine Rufine. Ce schéma dont la construction est inspirée de P. Pruvost (1930) met bien en évidence le phénomène général de la subsidence. Il précise en outre les aires où l'amplitude de l'affaissement atteignait les valeurs les plus importantes. La partie inférieure de la figure 21 reprend la figure 2. J'ai alors porté à la partie supérieure de cette figure, pour chacun des points de prélèvements, les pourcentages moyens de collinite contenus dans les dépôts phytogènes. Il apparaît que les variations de teneur en collinite des veines Amélie et Rufine sont directement liées à l'allure du fond du bassin. Ce phénomène est particulièrement net à l'Ouest du bassin. Quand le fond du bassin présente une zone en creux, les dépôts phytogènes s'enrichissent en collinite et, à un bombement du fond correspondent des combustibles bien moins riches en collinite. En étudiant ce phénomène plus à l'Est, les informations permettant de définir les positions successives du fond du bassin sont incomplètes et les graphiques de la figure 21 sont

SPORINITE

E

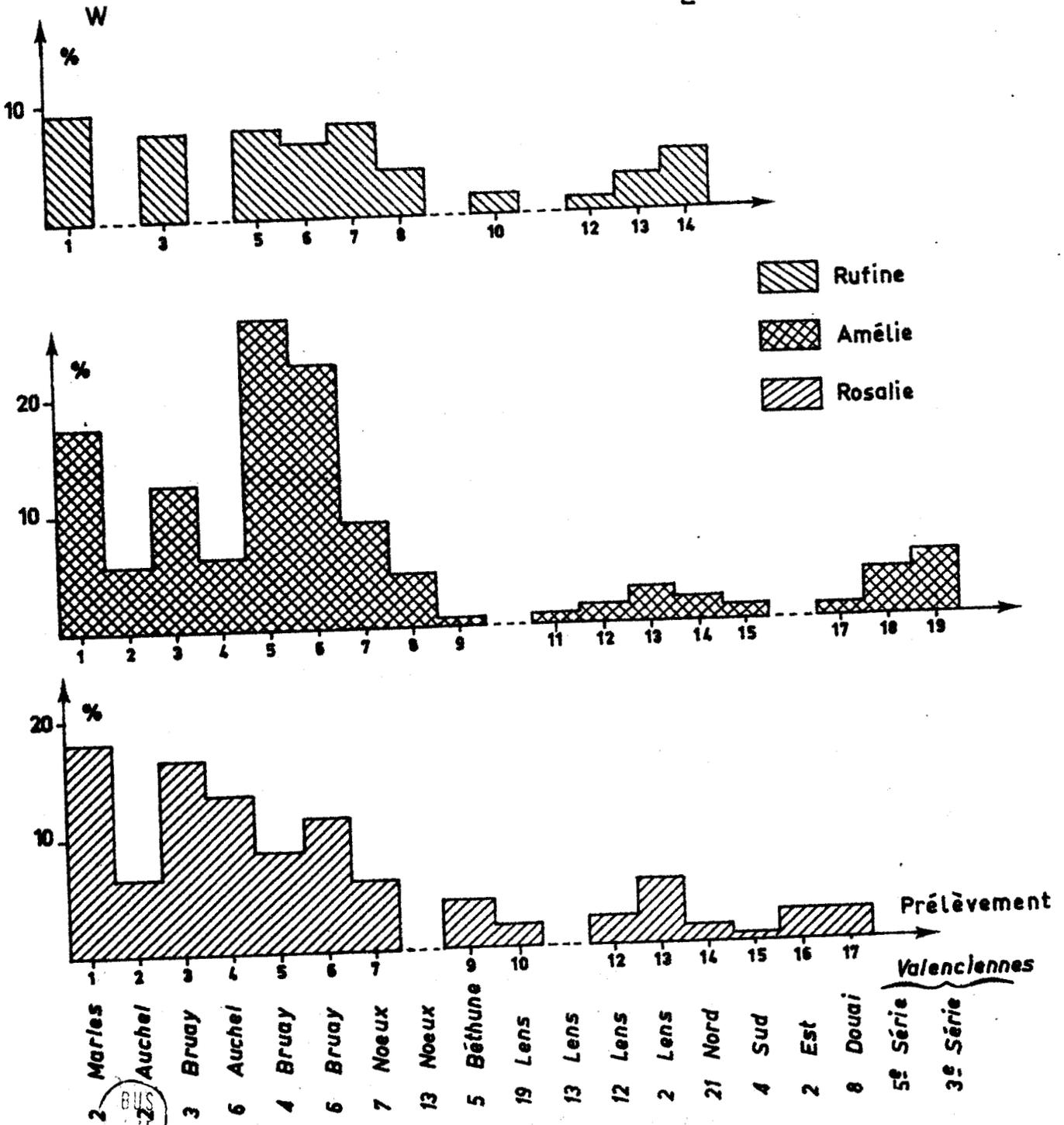


Fig. 22. — VARIATIONS LATÉRALES DE LA TENEUR MOYENNE EN SPORINITE DES VEINES VOISINES DU TONSTEIN PATRICE.

CON.

discontinus. Pourtant on arrive à déceler dans cette zone et pour les veines considérées des liens étroits entre ces deux faits. La concordance entre les variations pétrographiques et celles de l'allure du fond du bassin montre que l'aire de dépôt devait elle aussi esquisser cette allure. On se rappelle par ailleurs la relation existant entre les irrégularités du fond du bassin et l'épaisseur des dépôts phytogènes. Tous ces faits sont directement liés et les caractères sédimentologiques similaires des accumulations végétales procèdent des mêmes phénomènes mécaniques ayant affecté les aires de sédimentation.

- La sporinite

La comparaison des teneurs en exinite des combustibles étudiés avait permis de mettre en évidence une différence essentielle entre les charbons de la partie occidentale du bassin et les autres houilles. La figure 22 montre les variations latérales de la teneur moyenne en sporinite des veines voisines du Tonstein Patrice. Elle précise les résultats d'ensemble obtenus à partir des diagrammes V, E et I. En effet, il apparaît que les combustibles situés à l'Ouest et plus précisément ceux des prélèvements 1 à 7, qu'ils appartiennent à la veine Rosalie, Amélie ou Rufine, contiennent de fortes proportions de sporinite. A l'Est du point 7, les houilles montrent des pourcentages bien plus faibles de ce constituant. Mise à part cette accumulation privilégiée ou cette concentration des spores dans les dépôts situés à l'Ouest du bassin, il est difficile de dégager une idée générale relative à l'aspect sédimentologique de ce macéral.

L'étude des variations Nord-Sud des compositions pétrographiques des houilles présente un intérêt considérable. Cette étude est particulièrement importante pour ce qui est des tissus ligneux (fusinite et semi-fusinite) et des spores (sporinite). Les prélèvements effectués au 13 de Lens (11) au 12 de Lens (12) et au 19 de Lens (10) sont assez révélateurs à ce sujet. En laissant de côté le problème des tissus ligneux qui sera étudié plus loin, il apparaît qu'en ces trois points répartis du Nord au Sud dans la zone médiane du groupe de Lens-Liévin, les pourcentages de sporinite sont du même ordre de grandeur (environ 5 %) tant dans une même veine que d'une veine à l'autre. Il serait présomptueux de tirer des conclusions et d'étayer des hypothèses à partir de trois analyses. Je

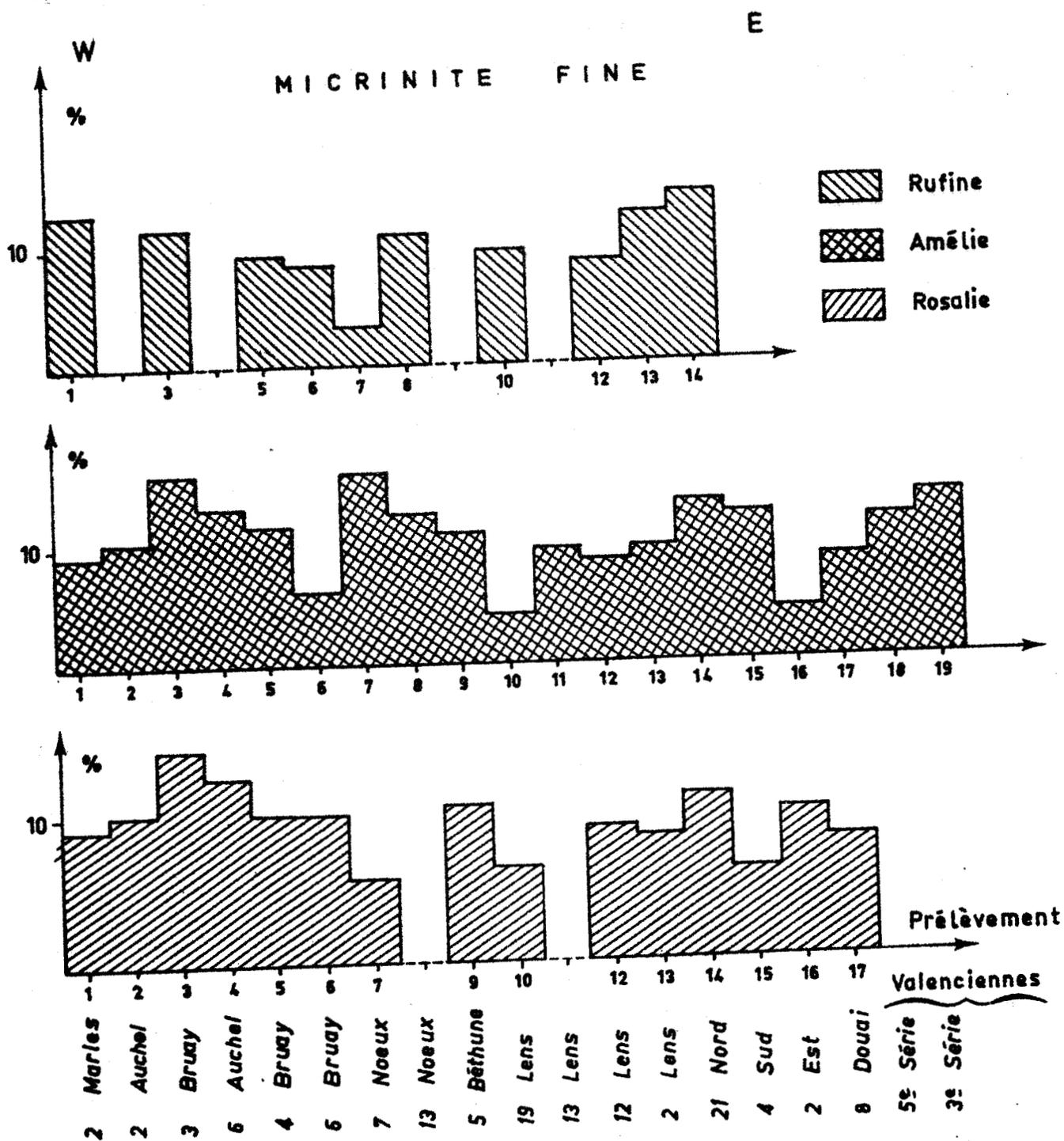


Fig. 23. — VARIATIONS LATÉRALES DE LA TENEUR MOYENNE EN MICRINITE FINE DES VEINES VOISINES DU TONSTEIN PATRICE.

préciserai cette nouvelle donnée importante à l'aide des nombreux résultats fournis par l'étude des veines Jeanne et Emilie dans ce même groupe d'exploitation.

En comparant les proportions de sporinite contenues dans chacune des veines on ne retrouve pas, sur une même verticale et d'une manière générale, d'évolution similaire. On peut toutefois noter, très localement, certaines tendances continues dans le temps et dans l'espace. Ainsi le prélèvement 3 contient une proportion de spores plus élevée que celle des points voisins et il apparaît, en se dirigeant des points 6 à 7 ou 7 à 8, une diminution des pourcentages en sporinite dans les trois veines étudiées. Quoiqu'il en soit, il est difficile de rattacher ces observations à un paramètre bien défini et on se perd alors en conjectures pour expliquer ces faits. A la lumière d'analyses plus fines encore, je préciserai ultérieurement ce point particulièrement important.

- La micrinite fine

En abordant l'étude de la répartition de la micrinite fine je rappellerai que l'analyse des teneurs en V, E et I avait montré que les proportions d'inertinite sont pratiquement constantes dans tous les charbons étudiés et oscillent aux environs de 25.5 %. Ces combustibles contiennent en moyenne 9 à 10 % de micrinite fine. Au niveau étudié, les charbons des différents groupes d'exploitation en renferment respectivement :

Auchel-Bruay	10.8 %
Béthune-Noeux	9.8 %
Lens-Liévin	9.1 %
Hénin-Liétard	8.4 %
Douai	8.3 %
Valenciennes	11.7 %

La répartition de ce matériel particulier semble très homogène. La fig. 23 confirme ces résultats d'ensemble. Chaque veine étudiée montre bien certains points présentant des proportions un peu plus faibles que la moyenne et d'autres points ayant des pourcentages plus élevés. Le fait important à souligner ici est cette grande constance dans le dépôt

MICRINITE MASSIVE

E

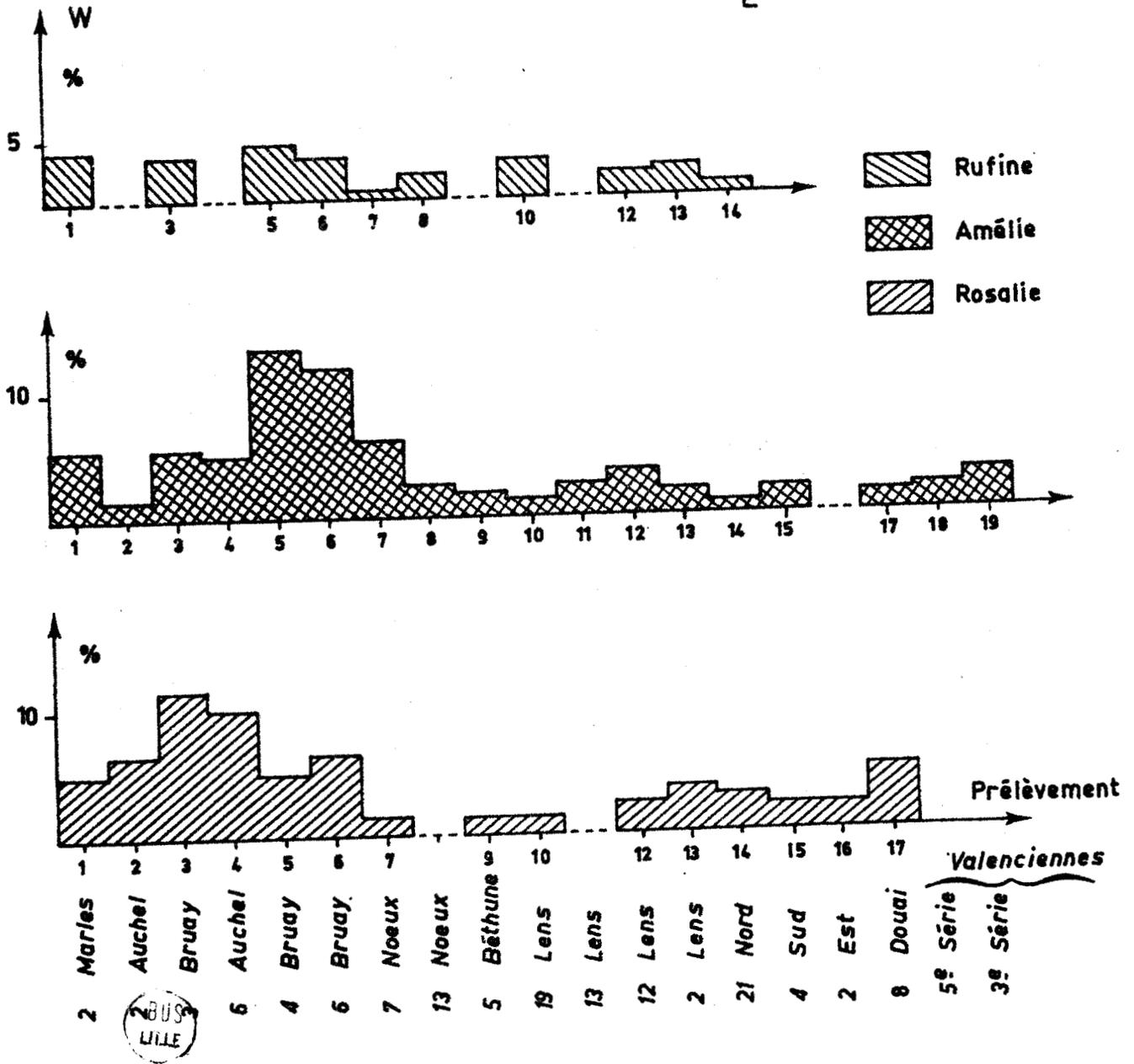


Fig. 24. — VARIATIONS LATÉRALES DE LA TENEUR MOYENNE EN MICRINITE MASSIVE DES VEINES VOISINES DU TONSTEIN PATRICE.

de ce macéral de l'Ouest à l'Est du bassin et de la veine Rosalie à la veine Rufine. Tout naturellement on est amené à penser aux relations génétiques présumées entre la micrinite fine et la sporinite. La comparaison des figures 22 et 23 montre d'une manière éclatante une totale disparité entre la répartition de ces deux macéraux. Cela témoigne une fois de plus que la réunion de ces deux composants est purement fortuite. Cependant quelquefois les valeurs des corrélations entre ces deux macéraux peuvent être élevées et présenter des probabilités sûres.

Par ailleurs, la recherche de rapports avec les autres composants, soit pris séparément soit en considérant l'ensemble de leurs variations latérales, fut vaine. Dans ces conditions, on peut penser que la micrinite fine est un macéral résultant de la désagrégation d'un composant peu répandu dans les houilles ou ayant totalement disparu.

- La micrinite massive

Les teneurs moyennes en micrinite massive des combustibles des différents groupes d'exploitation ont les valeurs suivantes :

Auchel-Bruay	5.2 %
Béthune - Noeux	2.5 %
Lens-Liévin	2.1 %
Hénin-Liétard	1.3 %
Douai	4.2 %
Valenciennes	2 %

On constate qu'en général les houilles du bassin du Nord et du Pas-de-Calais contiennent des proportions faibles de ce macéral. La fig. 24 montre la répartition latérale de ce composant. Pour chacune des veines étudiées le pourcentage de micrinite massive présente ses valeurs les plus grandes dans la partie occidentale du bassin (points 1 à 6). Il est logique de penser que dans cette région les tissus ligneux ont subi un morcellement important. Plus à l'Est, les dépôts phytogènes en renferment des pourcentages beaucoup plus faibles. La comparaison des figures 20, 22, 23 et de la figure 24 a permis d'établir les relations entre les constituants des charbons. Il existe une grande similitude entre les graphiques de la figure 22 (sporinite) et ceux de la figure 24 (micrinite massive). Ceci est particulièrement net pour les veines Rosalie et Amélie

d'Auchel-Bruay à Valenciennes. On sait que la sporinite est presque toujours représentée par des microspores. Les microspores et la micrinite massive sont en effet très souvent associées dans les houilles où elles constituent des lits particuliers. Il convient de remarquer que ces macéraux d'origine différente ont des dimensions voisines dont dépendrait leur mode de gisement.

- La semifusinite

Les charbons du bassin renferment en moyenne 6 % de semifusinite. D'une manière générale, au niveau étudié, ce composant se répartit de la manière suivante dans les différents groupes d'exploitation :

Auchel-Bruay	7 %
Béthune-Noeux	4.7 %
Lens-Liévin	8.1 %
Hénin-Liétard	5.8 %
Douai	4.1 %
Valenciennes	7 %

Il y a donc, sur toute l'étendue du bassin, une répartition relativement homogène de ce matériel gélatinisé. La figure 25 confirme ce résultat général. Rosalie, Amélie et Rufine ou leurs homologues renferment quelque soit le point considéré des proportions du même ordre. Toutefois la veine Rosalie présente aux points 4 et 10 (6 d'Auchel et 19 de Lens) des pourcentages assez importants de ce macéral. Il faut constater que ces deux points correspondent aux prélèvements les plus méridionaux étudiés. Par ailleurs en comparant les figures 20 et 25 il apparaît que les proportions de collinite et de semifusinite contenues dans les différents charbons varient en sens inverse. D'un prélèvement à l'autre l'augmentation du pourcentage en collinite s'accompagne d'une diminution de celui de la semifusinite. Par ailleurs, on constate en examinant les figures 25 (semifusinite) et 24 (micrinite massive) que les variations latérales de ces deux macéraux s'effectuent de manière très similaire. Ce phénomène est général et à ce titre la semifusinite peut être considérée comme un macéral important.

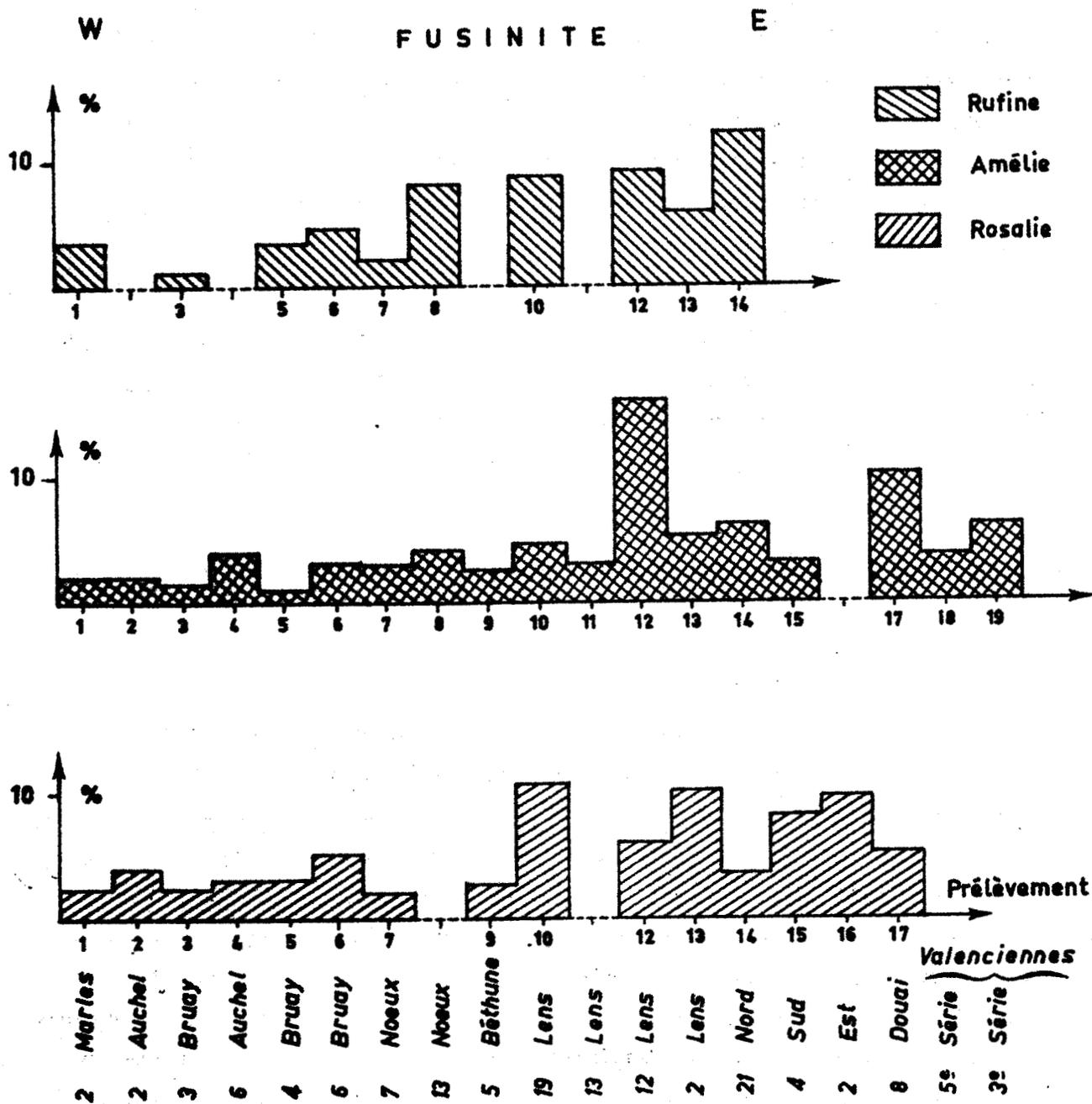


Fig. 26. — VARIATIONS LATÉRALES DE LA TENEUR MOYENNE EN FUSINITE DES VEINES VOISINES DU TONSTEIN PATRICE.

- La fusinite

La fusinite représente 5.5 % des macéraux constitutifs des houilles. Les analyses macérales ont permis de montrer que, dans les charbons du groupe d'Auchel-Bruay et ceux de Béthune-Noeux, ce constituant est très peu abondant (respectivement 2.6 % et 3.8 %). Ailleurs il est peu abondant (entre 5 et 10 %). Ainsi, à Lens-Lièvin les combustibles en renferment 6.8 %, à Hénin-Liétard et Douai environ 7 % et à Valenciennes 5.5 %. Comme le montre la figure 26, aux trois niveaux étudiés la partie occidentale du bassin a toujours révélé des charbons à faible teneur moyenne en fusinite (points 1 à 7). En revanche, et ceci est un phénomène général, les dépôts situés à l'Est de la fosse 13 de Noeux ont des proportions plus grandes de ce composant. En examinant le point le plus septentrional (11) et un point situé plus au Sud (10, 13 ou 15) approximativement sur le même méridien, on constate une tendance à une légère augmentation des proportions de fusinite vers le Sud. Les pourcentages en tissus ligneux (semifusinite et fusinite cumulées) sont du même ordre de grandeur (12 % en moyenne) dans la majeure partie du bassin ; la partie occidentale étant caractérisée par des proportions plus importantes en sporinite donc plus faibles en tissus ligneux (9 % en moyenne).

- Conclusions

Les charbons étudiés renferment des macéraux pouvant être rangés en deux catégories :

- les macéraux principaux :

La collinite représente près de 70 % de la composition des houilles. Par son abondance, ce composant se place en tête de tous les macéraux. La micrinite fine (9 à 10 %), la micrinite massive (6 %), la semifusinite (6 %), la fusinite (5.5 %) et la sporinite (5 %) viennent ensuite.

La collinite et la micrinite fine sont réparties de manière très homogène dans tout le bassin. Par contre, la sporinite, la micrinite massive, la semifusinite et la fusinite peuvent être considérées comme des macéraux caractéristiques. En effet, leur répartition dans le bassin en font des composants intéressants. Ils définissent des faciès pétrographiques particuliers. Des rapports entre ces composants ont été recherchés et je préciserai plus loin leur valeur (tabl. 7, p.117).

	AUCHEL- BRUAY	BETHUNE- NOEUX	LENS- LIEVIN	HENIN- LIETARD	DOAUI	VALENCIENNES	
Sp	- 59.5 *	-45	-16	-39.3 *		-40 *	Collinite
Mf		-39		-20.4		-31.5 *	
Mm	-59.5 *	-72 *	-18.5	-28.7	-28	-58.2 *	
Sf	-38.3 *	-60.5 *	-38 *	-49.5 *		-41.4 *	
F			-26.8 *	-41.7 *	-26.6	-25.9	
Mf	-5	+51.6	+28.3 *	+43.4 *	+38.8		Sporinite
Mm	+49.4 *	+70.7 *	+14	+15.6		+55 *	
Sf	+9.1	+26.2		+27	+42.6	+43.5 *	
F			+12.4	+21		+11.9	
Mm		+69.7 *	+17.1	+13.2			Micrinite fine
Sf		+40		+31.6 *			
F		+25		+22.2			
Sf	+31.8 *	+4.9	+32 *	+42.3 *		+38.8 *	Micrinite massive
F				+9		+17 *	
F	+7.7	+37.4	+12	+41.4 *		+21.6	Semifusi- nite

Tableau 7. - Valeurs (%) des corrélations entre les macéraux des houilles voisines du Tonstein Patrice sur toute l'étendue du bassin.

- Les macéraux accessoires

La télinite, la cutinite, la résinite et la sclérotinite entrent pour 0.1 % en moyenne dans la composition des houilles situées au voisinage du Tonstein Patrice. Bien qu'ils apparaissent comme des macéraux secondaires leur présence n'est toutefois pas à négliger. En effet, l'observation de lits riches en résinite ou en sclérotinite permet de préciser leurs caractères paléobotaniques (E. Stach et W. Pickhardt, 1957 et 1964) microscopiques (A. Duparque et Ch. Delattre, 1954 ; A. Duparque et F. Morand-Judas, 1956) et chimiques (E. Stach, 1966). En outre, il serait possible de déterminer les conditions climatiques dans lesquelles se sont effectués certains dépôts renfermant des sclérotites (E. Stach, 1956). Ces macéraux, on le voit, sont accessoires par leur fréquence mais très importants par leur mode de gisement.

b. Les corrélations entre les macéraux

Grâce à une recherche sur ordinateur effectuée au Laboratoire de Calcul de la Faculté des Sciences de Lille, il a été possible d'établir les corrélations entre les composants des houilles pris deux à deux. Celles-ci ont été définies pour chaque groupe d'exploitation et elles sont résumées sur le tableau 7. A chaque valeur (%) est associé le sens (+ ou -) de la variation linéaire suivie ou non d'un signe (*). L'existence de ce signe indique que la probabilité est grande ou que la crédibilité est excellente (100 %).

Il apparaît que les corrélations définies entre la collinite et les autres macéraux sont toutes négatives. Ce résultat est tout à fait logique car les analyses pétrographiques sont traduites en pourcentages et à un enrichissement d'une houille en corps figurés correspond un appauvrissement en ciment.

Par contre on remarque que, dans les charbons étudiés, les variations de pourcentage pour chacun des corps figurés se font toutes dans le même sens. Excepté à Auchel-Bruay où les proportions de sprinite et de micrinite fine varient en sens inverse, le tableau 7 montre la constance de ce caractère. En ce qui concerne ces deux composants, peut-être

est-ce là une preuve supplémentaire qu'ils n'ont entre eux aucune relation génétique. Il faut toutefois noter que cette corrélation ne possède pas une grande crédibilité (96.93 %) pour une probabilité égale à 0.030745.

On constate, dans le groupe d'exploitation de Douai (prélèvement 17 à la Fosse 8 de l'Escarpelle) qu'aucune corrélation n'est établie avec une grande crédibilité. Pour les autres groupes d'exploitation, il apparaît que :

- les proportions de collinite et de semifusinite sont toujours fortement liées négativement et en particulier dans le groupe de Béthune-Noeux (points 7 et 8, fosses 7 et 13 de Noeux),
- dans 4 groupes sur 5, la micrinite massive et la semifusinite sont étroitement liées positivement et de manière homogène,
- dans 3 groupes, les variations de la micrinite massive sont opposées à celles de la collinite. Cela résulte directement des deux premières remarques. La collinite d'une part, et la sporinite et la micrinite massive d'autre part, présentent des variations attachées les unes aux autres. Cinq types de corrélations apparaissent ainsi. Elles rattachent respectivement :
 - la collinite et la semifusinite (1),
 - la micrinite massive et la semifusinite (2),
 - la micrinite massive et la sporinite (3),
 - la collinite et la sporinite (4),
 - la collinite et la micrinite massive (5).

Par ailleurs, on remarque que toutes les corrélations se vérifient entièrement dans les groupes d'Auchel-Bruay et de Valenciennes avec des crédibilités similaires.

Les relations (1), (4) et (5) sont d'importance moyenne eu égard au fait qu'elles définissent les rapports entre le ciment et les corps figurés. Par contre, les relations (2) et (3) liant des corps

figurés entre eux revêtent un intérêt particulier. Elles permettent de mettre en évidence parmi les macéraux principaux définis précédemment ceux qui, par leur apparition simultanée, déterminent un faciès caractéristique. Les relations établies entre la micrinite massive d'une part, et la semifusinite et la sporinite d'autre part, ne relèvent pas des mêmes processus. En effet, la sporinite est constituée d'éléments entiers parfois chimiquement évolués, tandis que la semifusinite et la micrinite massive représentent du tissu ligneux plus ou moins désagrégé et évolué. C'est pourquoi la dépendance de la micrinite massive envers la semifusinite est due à une relation génétique tandis que la concomitance entre la micrinite massive et la sporinite doit être rattachée à des causes sédimentologiques.

Enfin, on notera qu'il existe peu de relations entre la micrinite fine et les autres composants ligneux : micrinite massive, semifusinite et fusinite. On peut penser que ce macéral (micrinite fine) provient d'un élément totalement disparu qui a pu être reconnu récemment dans un gisement particulier (Ch. Delattre et E. Mériaux, 1966). Toutefois, il apparaît que les variations des proportions de micrinite fine dans les combustibles étudiés sont proportionnelles à celles des pourcentages des autres macéraux du groupe de l'inertinite. Il en va de même pour la micrinite massive et la semifusinite. Il y a là un groupe de macéraux interdépendants présentant des propriétés technologiques similaires (cf. Inertinite) et une origine commune.

c. Les variations latérales de faciès

Les figures 20 à 26 montrent les variations latérales des compositions moyennes de chacun des macéraux rencontrés dans les veines Rosalie, Amélie et Rufine. J'examinerai maintenant les différents histogrammes donnant la composition moyenne de ces horizons en m'attachant tout particulièrement aux rapports entre les macéraux dans chaque histogramme. De cette manière, il devient possible de suivre les variations latérales du faciès de ces veines.

La veine Rosalie

La constitution moyenne de cette veine est représentée par les histogrammes notés EM des figures IIc, IIId (205, 224, 138, 24),

II f (17), II g (115), II j (Marcelline), II k (190), II m (194), II p (P 1), II q (357), II r (461 et 330), II s (673) et II t (1500). Il apparaît que les combustibles de cette veine présentent un certain nombre de caractères similaires. On note tout d'abord, la présence quasi-constante de spores dans tous les échantillons. Seul l'histogramme 330 (Iè passée sous Patrice à la fosse 4 Sud du groupe d'Hénin-Liétard) en renferme fort peu. Par ailleurs, ces combustibles contiennent des proportions de micrinite fine supérieures à celles de la micrinite massive ($M_f > M_m$). Les pourcentages de semifusinite sont en général plus importants que ceux de la fusinite ($S_f > F$). On remarque que seule la région orientale du massif des charbons gras (points 13, 15 et 16) contient des combustibles où les tissus ligneux non gélifiés sont plus abondants que les tissus ligneux gélifiés.

La veine Amélie

Les figures II b, II d (204, 223, 141, II), II e (16 P 2), II g (269), II h (11/12, EM), II j (Marcellin), II k (182), II l (Cinq-Sillons), II m (197), II p (P4), II q (383), II r (430-298), II s (717), II t (1570), II v (19) et II x (29) montrent les histogrammes de cette veine ou de son homologue. Les spores sont présentes dans presque toutes les veines. De plus les relations $M_f > M_m$ et $S_f > F$ se retrouvent encore ici. On constate toutefois que la première relation n'est pas valable aux points 5 et 6, c'est à dire dans la région occidentale du massif des charbons demi-gras et quart-gras. Par ailleurs, aux points 12, 14 et 17 la relation $S_f > F$ n'est pas respectée. Dans la partie orientale du massif des charbons gras ainsi que dans la région de Douai (1) il apparaît que les veines Rosalie et Amélie contiennent des tissus ligneux dont les rapports diffèrent de ceux constatés dans les autres points du bassin. La zone affectée par la relation $F > S_f$ est plus importante dans le cas de la veine Amélie que dans celui de Rosalie.

(1) J'ai montré précédemment l'évolution graduelle de la composition des dépôts du groupe d'Hénin-Liétard vers ceux du groupe de Douai. La faille de Gavion, rappelons-le, s'amortit progressivement ici.

N.B.M.P.C. Extrait de la carte géologique du
bassin houiller à la cote -300

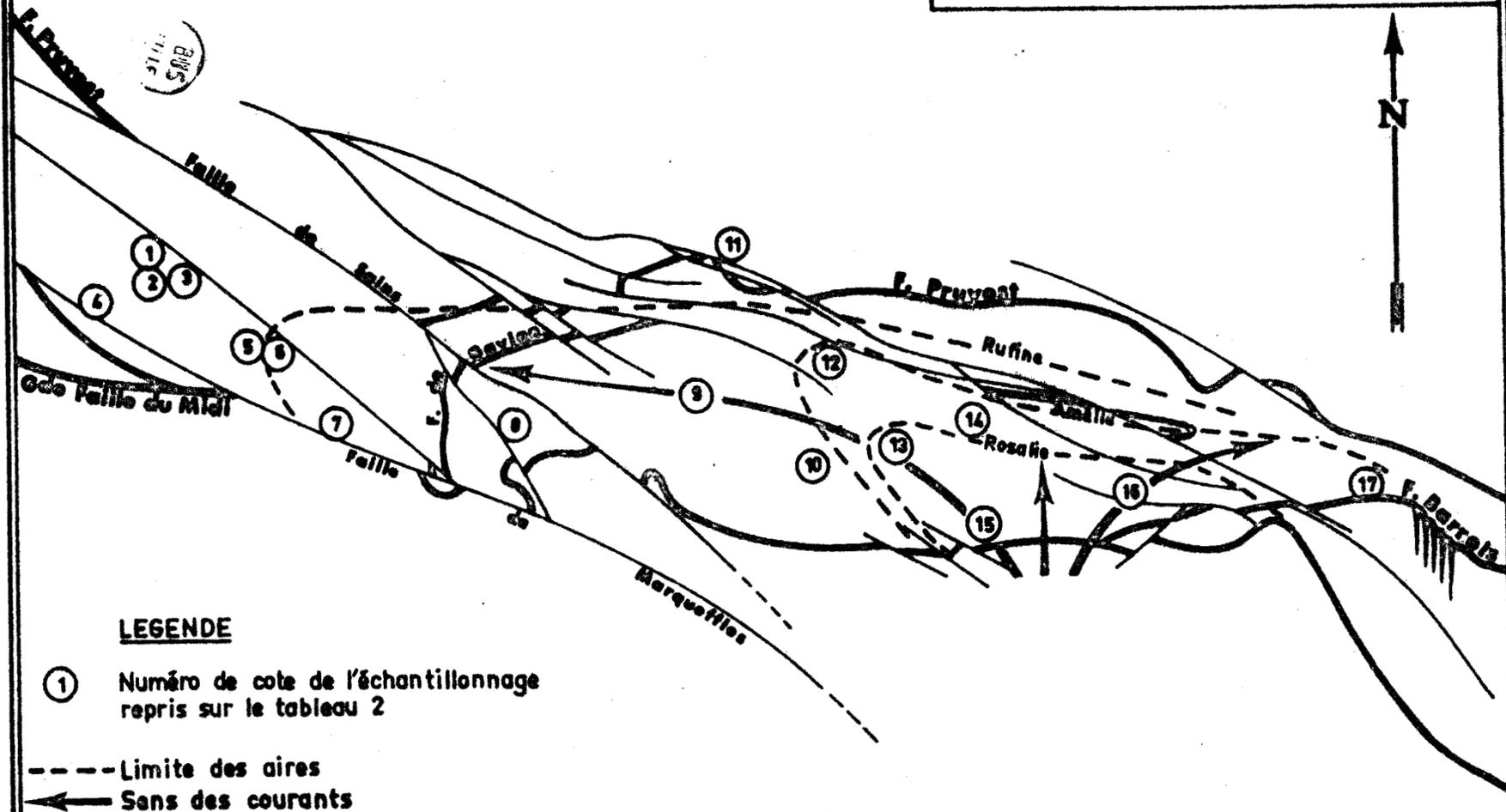


Fig. 27. — CARTE DES LIMITES DES AIRES OU LES DEPOTS PHYTOGENES PRESENTENT
DES POURCENTAGES DE SEMIFUSINITE INFERIEURS OU EGAUX A CEUX DE LA FUSINITE

La veine Rufine

On trouvera les histogrammes représentant la composition moyenne de la veine Rufine dans la région occidentale du bassin sur les figures IIa, IIc (222,23), IIe (16), IIg (123), IIh (Bienvenue), IIk (186-187), IIl (196-198), IIn (P3) et IIq (441). Cette veine renferme toujours des proportions de micrinite fine supérieures à celles de la micrinite massive ($M_f > M_m$). La relation $S_f > F$ ne se vérifie que dans la partie très occidentale du bassin (points 1 à 5). Partout ailleurs, ou bien cette relation est moins nette, ou bien les pourcentages de fusinite l'emportent sur ceux de la semifusinite. Plus à l'Est du 21 Nord (point 14, échantillon 441), on voit que ^{les} passées situées au toit de Patrice au 4 Sud (point 15, fig. IIr, 383 et 180) au 2 Est (point 16, fig. IIs, 727 et 736) à la fosse 8 de l'Escarpelle (point 17, fig. IIt, 1587) et à la fosse Cuvinot (point 19, fig. IIw, 490 et 20), présentent, elles aussi, des proportions de fusinite supérieures à celles de la semifusinite. Bien que ces passées ne représentent peut-être pas la veine Rufine, on constate une grande analogie avec cette dernière. La figure 27 montre dans le bassin les limites successives où les pourcentages de tissus gélifiés sont égaux ou moins importants que ceux des tissus ligneux non altérés. Il apparaît d'emblée qu'au fur et à mesure que l'on monte dans la série stratigraphique l'aire où les tissus ligneux ont été les mieux conservés s'accroît progressivement du Sud vers le Nord et de l'Est vers l'Ouest. Cette tendance générale, rappelons-le, a été observée dans le groupe de Valenciennes. Mais, en raison du manque de prélèvements entre Douai et Valenciennes, toute concordance paraît difficile à établir.

J'ai montré précédemment que la sporinite, la micrinite massive, la semifusinite et la fusinite pouvaient être considérées comme des macéraux caractéristiques. La répartition de la micrinite fine dans le bassin est, rappelons-le, très homogène. Par ailleurs, les relations fusinite-semifusinite viennent d'être précisées. Il reste alors à étudier les rapports entre la micrinite massive, la semifusinite et la sporinite. Les liens entre ces macéraux n'apparaissent pas sur les histogrammes et j'ai été amené à calculer la valeur des rapports M_m/Sp , M_m/S_f et Sp/S_f . Les figures 28, 29 et 30 montrent respectivement les variations latérales de

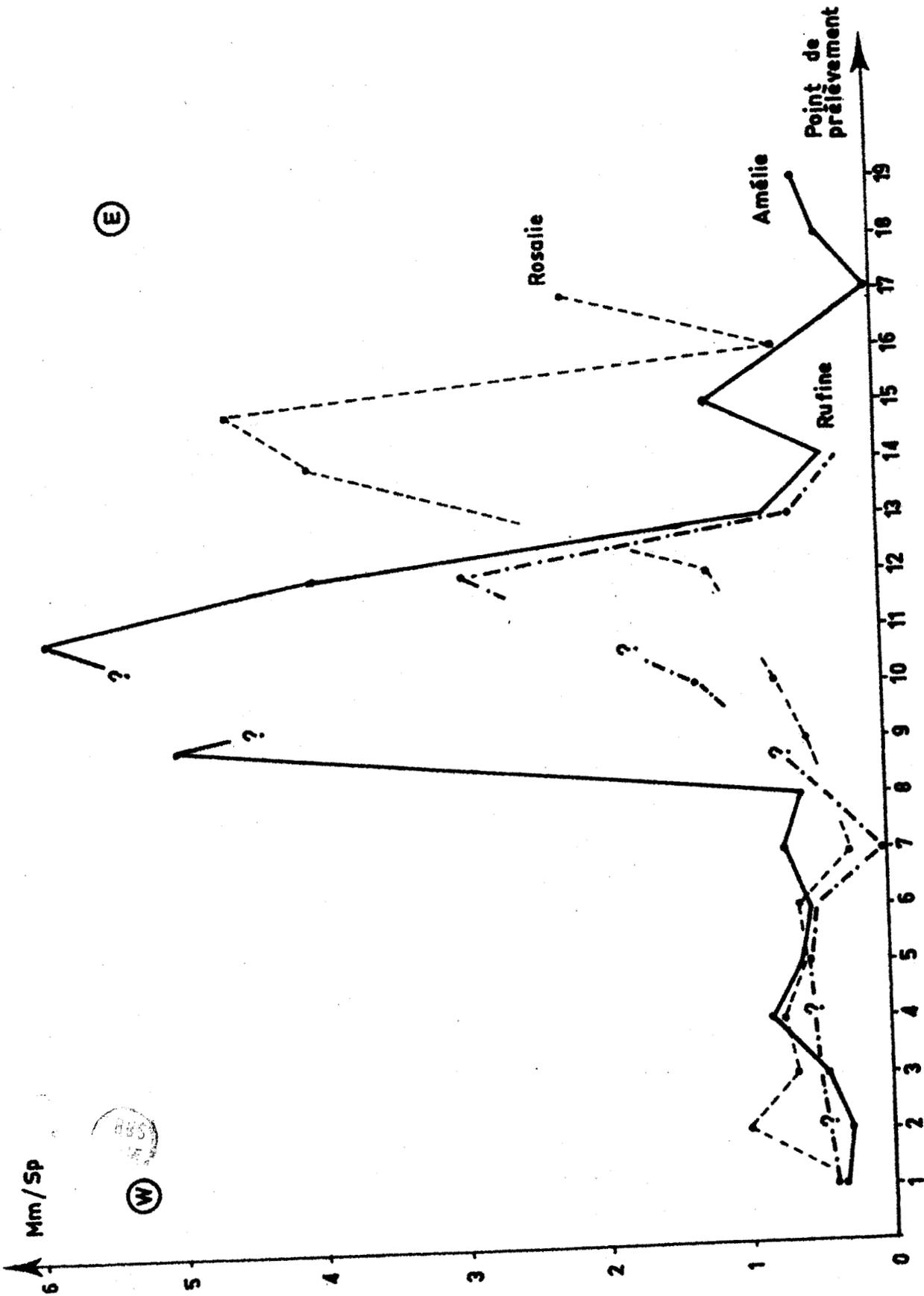


Fig. 28. — VARIATIONS LATÉRALES DU RAPPORT Mm/SP AU VOISINAGE DU TONSTEIN PATRICE .

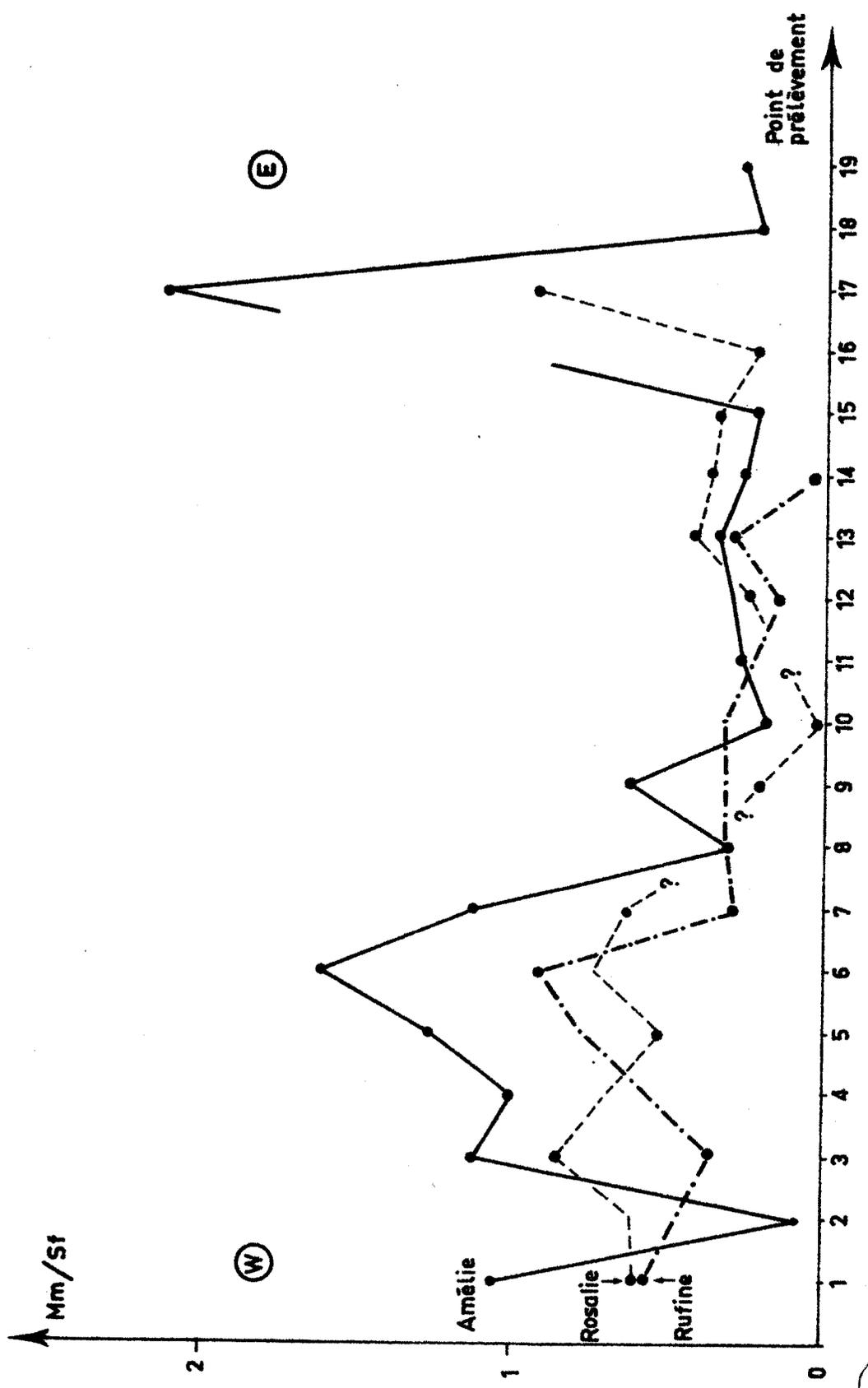


Fig. 29. — VARIATIONS LATÉRALES DU RAPPORT Mm/Sf AU VOISINAGE DU TONSTEIN PATRICE.



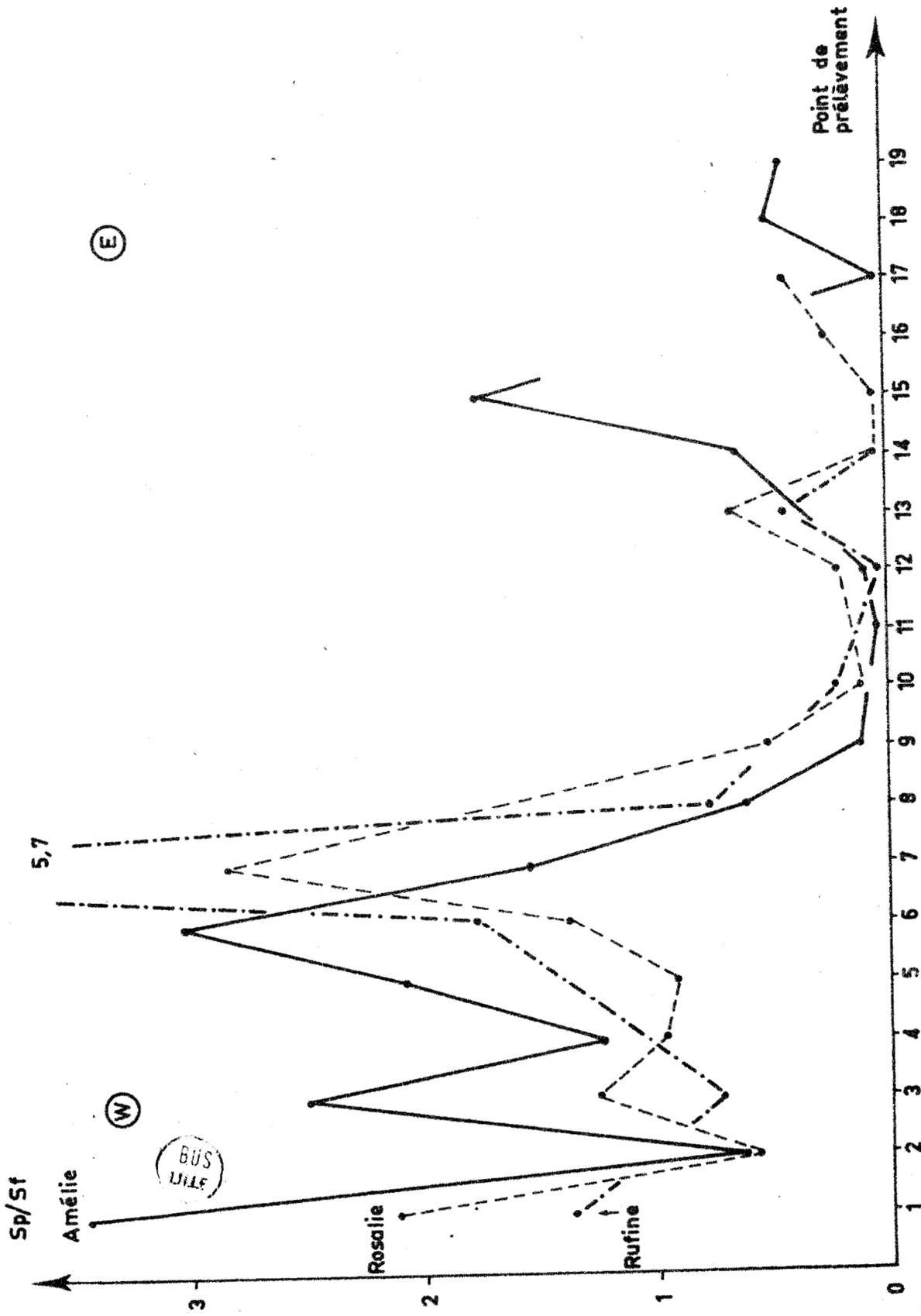


Fig. 30. — VARIATIONS LATÉRALES DU RAPPORT Sp/Sf AU VOISINAGE DU TONSTEIN PATRICE.

ces relations d'un bout à l'autre du bassin. Pour les charbons du groupe de Valenciennes (points 18 et 19), en raison de l'isolement de ce prélèvement, je me bornerai seulement à définir la tendance générale de l'évolution dans cette région du bassin. Les graphiques des figures 27, 28 et 29 font immédiatement ressortir trois régions possédant des dépôts phytogènes ayant des caractères bien précis :

- une région occidentale allant du Vieux 2 de Marles à la fosse 7 de Noeux.

Les combustibles de cette partie du bassin renferment des proportions de micrinite massive inférieures à celles de sporinite, des proportions de sporinite supérieures à celles de semifusinite et des proportions de semifusinite supérieures ou égales (parfois inférieures) à celles de micrinite massive. Les houilles de cette région peuvent être caractérisées par les relations $Sp > Sf$

$$Mm < Sf \text{ ou } Mm > Sf$$

$$Sp > Mm$$

dont on tire

$$Mm < Sf < Sp \text{ (1)}$$

ou

$$Sf < Mm < Sp$$

- une région centrale allant de la fosse 13 de Noeux au puits 2 Est du groupe d'Hénin-Liétard. Les charbons obéissent ici aux relations suivantes :

$$Mm > Sp \text{ ou } Sp > Mm$$

$$Mm < Sf$$

$$Sp < Sf$$

ils peuvent donc être caractérisés par les relations :

$$Sp < Mm < Sf \text{ (2)}$$

ou

$$Mm < Sp < Sf$$

- une région orientale où la tendance se traduit pour la 19° veine (homologue de la veine Amélie) par :

$$Mm < Sp$$

$$Sf > Mm$$

soit

$$Sf > Sp$$

la relation $Mm < Sp < Sf \text{ (3)}$.

On constate immédiatement une certaine identité des caractères pétrographiques des houilles des régions centrale et orientale .

Les relations (1) et (2) définissent des charbons appartenant à des unités tectoniques superposées. Il a été démontré, rappelons-le, que le massif des charbons gras s'est peu déplacé par rapport à celui des charbons demi-gras et quart-gras. Les charbons de ces unités procèdent de dépôts qui se sont effectués dans des aires voisines. Ils se ressemblent par leurs proportions de semifusinite supérieures à celles de micrinite massive. Les fortes proportions de sporinite dans les charbons de la région occidentale et la richesse en semifusinite des houilles des régions centrale et orientale du bassin constituent des caractères pétrographiques distinctifs importants.

Ainsi, l'étude des variations latérales des macéraux pris isolément ou deux à deux a permis de définir la valeur relative de chacun des composants, de préciser l'importance de certaines associations macérales et leur répartition dans le bassin.

C. Conclusions générales

La recherche systématique des compositions macérales des veines de houilles voisines du Tonstein Patrice a permis d'étudier d'abord leurs variations verticales en 19 points du bassin, puis d'en suivre les variations latérales de faciès sur toute l'étendue du bassin.

L'étude des variations verticales et latérales des compositions macérales a permis de :

- déterminer l'homogénéité pétrographique du mur au toit des veines de houille,
- montrer que le Tonstein Patrice ne constitue pas une coupure dans l'évolution verticale des dépôts phytogènes,
- préciser l'allure pulsée du dépôt des alluvions végétales en chaque point du bassin,

- suivre, dans la partie occidentale du bassin et de part et d'autre de la faille de Gavion, l'évolution latérale de l'allure pulsée des accumulations phytogènes,
- classer les macéraux en macéraux principaux et macéraux accessoires,
- mettre en évidence un certain nombre de relations intermacérales,
- rechercher parmi ces corrélations celles qui présentaient le plus grand intérêt,
- préciser, à une époque donnée, la répartition des surfaces où les tissus ligneux non altérés sont plus abondants que les tissus ligneux gélifiés,
- montrer que les extensions successives de telles surfaces n'étaient pas quelconques et présentaient, pour l'horizon étudié, une allure divergente centrifuge à partir de la région centrale du bassin,
- définir des aires de sédimentation présentant des caractères sédimentologiques et pétrographiques constants.

Ainsi, de tels résultats deviennent-ils utilisables pour les reconstitutions paléogéographiques du bassin houiller au moment du dépôt du Tonstein Patrice. J'étudierai dans le groupe de Lens-Liévin et grâce à un échantillonnage plus dense les variations latérales et plus particulièrement nord-sud des veines Jeanne et Emilie. Cette étude pétrographique fine complétée par celle de houille prélevée en sondage dans ce même groupe d'exploitation nous aidera à mieux comprendre les processus de sédimentation, de diagénèse précoce et de houillification des combustibles.

2. Composition pétrographique des veines Jeanne et Emilie du groupe de Lens-Liévin

Les veines Jeanne et Emilie, rappelons-le, sont situées dans le groupe de Lens-Liévin juste au-dessus de la veine Hyacinthe. Leur étude prolonge celle des sédiments situés au voisinage du Tonstein Patrice.

Les coupes N-S, AA et BB, du tableau 8 montrent la position géométrique de la veine Emilie (1). Il est par ailleurs aisé de retrouver la position géographique de cette veine grâce aux projections numérotées (de I à 9) tant sur le plan que sur les coupes. En outre, on trouve à côté du numéro du prélèvement la cote (z) de la veine, sa composition verticale en V, E et I et l'histogramme représentant la composition macérale moyenne de la veine. Le tableau 9 donne les indications relatives à la veine Jeanne.

A. Variations des teneurs en Vitrinite, Exinite et Inertinite

1. Variations globales

La veine Jeanne contient en moyenne 61.8 % de vitrinite, 5.9% d'exinite et 32.2 % d'inertinite.

La veine Emilie est en moyenne plus riche en vitrinite (67.8%) mais présente un pourcentage moins élevé en inertinite (26.2 %). Elle renferme un pourcentage en exinite égal (5.9 %) à celui de la veine Jeanne.

Il est intéressant de noter ces chiffres. En effet, les variations des pourcentages des matériels inertinitiques et du même coup celles des proportions du ciment seront suffisantes pour caractériser les variations verticales de chacune des veines en chaque point étudié.

Les compositions moyennes en V, E et I des veines Jeanne et Emilie sont reportées sur les diagrammes triangulaires des tableaux 8 et 9. En ce qui concerne la veine Jeanne, le prélèvement 9 situé le plus au Nord présente le pourcentage le plus élevé en matériel ligneux (39.7 %). Aux autres points les analyses ont donné des résultats voisins les uns des autres. Les veines Jeanne et Emilie sont d'une grande homogénéité comme l'atteste le groupement des points d'analyse des diagrammes triangulaires figurés sur les tableaux 8 et 9.

2. Variations verticales et latérales

Veine Jeanne (tableau 9 et figures VII de l'annexe)

Le prélèvement 9 (fig. VIIj) situé le plus au Nord montre de fortes proportions de matériel ligneux en particulier dans la partie

(1) Ces coupes ont été publiées par A. Bouroz, M. Buisine, J. Chalendar, A. Darlinval et P. Dollé (1964).

moyenne de la veine. Là l'augmentation des teneurs de ce matériel s'accompagne d'un enrichissement en pourcentage de matériel bitumineux. Le niveau 4 présente une tendance à une diminution des teneurs en corps figurés. On retrouve des allures similaires des variations verticales des dépôts aux points de prélèvements 4, 1 et 8. Les niveaux 3 (prélèvement 4, fig. VII d) 4 (prélèvement 1, fig. VIIa) et 5 (prélèvement 8, fig. VIIh) accusent une diminution locale des proportions du matériel ligneux. En ces quatre points (9, 4, 1 et 8) le mur et le toit de la veine Jeanne présentent des pourcentages importants et du même ordre de grandeur en ciment.

Dans la partie occidentale du groupe d'exploitation (prélèvements 5, 11, 13 et 12) les variations verticales des dépôts présentent une similitude frappante. On constate un enrichissement des veines du mur au toit en ce qui concerne les teneurs en débris ligneux et bitumineux. Cette augmentation est interrompue dans la région moyenne de la veine comme le montre bien les figures VIIe (niveau 2 du prélèvement 5), VIII (prélèvement 11), VIIIn (niveau 4 du prélèvement 13), VII m (niveau 6 du prélèvement 12). Au-dessus de ces niveaux l'évolution verticale du dépôt reprend avec la même allure que dans la partie basale de la veine. En ces quatre points la veine montre des proportions plus fortes en matériel ligneux dans sa partie supérieure que dans sa partie basale. A ce titre la veine prélevée au point 4 présente des caractères intermédiaires entre ceux des prélèvements occidentaux (11 -13-12 et 5) et ceux des prélèvements orientaux (1 et 8). En effet, le toit de la veine au point de prélèvement 4 montre à la fois un horizon (niveau 2) à forte teneur en matériel ligneux comme les dépôts situés à l'Ouest tandis que le niveau 1 ressemble au toit de la veine prélevée plus à l'Est.

Au Sud-Est du groupe les dépôts sont très homogènes. La veine Jeanne commence aux points 7 (fig. VIIg), 3 (fig. VIIc) et 2 (fig. VIIb) par une faible proportion de matériel inertiti^{que} dans sa partie inférieure, puis la teneur en débris organisés augmente, passe par un maximum dans la partie moyenne et va en diminuant vers le toit de la veine. La variation verticale du dépôt est donc ici très régulière.

Au Sud du groupe d'exploitation (prélèvement 6, fig. VIIf et 10, fig. VIIk) la veine Jeanne présente des caractères intermédiaires

entre ceux des dépôts orientaux (3 et 7) et ceux des dépôts occidentaux (12, 13, 11 et 5). On y retrouve, comme à l'Est, un enrichissement des teneurs en matériel ligneux à partir de la base suivi d'une diminution des proportions de ces mêmes matériels et, comme à l'Ouest, les dépôts se poursuivent vers le toit en s'enrichissant à nouveau en matériel inertinitique.

En définitive, si l'on examine pour chaque prélèvement de la veine Jeanne la répartition des points d'analyses sur les diagrammes triangulaires des figures VIIa à VIIIn on constate une dispersion parfois importante (cf. fig. VIIId par exemple). Nous avons vu précédemment qu'en moyenne la veine Jeanne était très homogène. Dans le détail sa composition en V, E et I oscille autour de cette moyenne et l'examen des variations des compositions en groupes de macéraux permet d'exhumer les caractères des dépôts de cette veine de houille. Les variations latérales et verticales de faciès sont lentes et une variation du pourcentage des différents apports à un moment donné affecte d'une manière générale une grande étendue de la lagune.

Veine Emilie (tableau 8 et figures IV de l'annexe)

Comme l'a montré la répartition des points d'analyses dans le diagramme V, E et I du tableau 8 la veine Emilie présente, quel que soit le prélèvement, une composition moyenne quasi-constante. Toutefois un examen détaillé permet de mettre en évidence selon le lieu considéré, deux ou trois niveaux caractérisés par des proportions relativement importantes de corps figurés (je décrirai plus loin les relations entre les constituants élémentaires). Ces horizons particuliers déterminent une certaine allure pulsée dans les proportions des apports. Ainsi, aux points de prélèvements 1 (fig. IVa), 2 (fig. IVb), 6 (fig. IVf), 7 (fig. IVg), 8 (fig. IVh) et 9 (fig. IVj) on note l'existence de deux niveaux à forte teneur en corps figurés. Le premier horizon se situe au mur de la veine. Il correspond aux niveaux 13, 12 et 11 de E1 (1) ; 7 de E2 ; 9, 8, 7 et 6 de E6 ; 13 et 12 de E7 ; 10 et 9 de E8 et 7 de E9. Le deuxième horizon se situe, lui, presque au toit de la veine. Il apparaît au niveau 4 de E1 ; 4, 3 et 2 de E2 ; 3 et 2 de E6 ; 5, 4, 3, et 2 de E7 ; 2 de E8 et de E9. Les prélèvements 3 et 4 présentent outre ces deux maximums (niveaux 8 et 7 de E3 et 7 de E4 pour la partie inférieure de la veine et niveaux 5 et 4 de E3

(1) E1 = Prélèvement numéro 1 de la veine Emilie.

et 4 de E4 dans la partie moyenne) un enrichissement des teneurs en matériel exinitique et inertinitique au toit de la veine (niveau 1 de E3 et de E4). L'aspect de la veine au point de prélèvement 5 semble tout à fait aberrant. Le mur montre ici de très faibles proportions en corps figurés alors qu'ailleurs le faciès de la veine est acquis d'emblée. Toutefois, on notera une tendance vers des maximums aux niveaux 3 et 1, c'est à dire dans la partie moyenne de la veine et au toit de cette dernière.

En définitive, malgré un faciès pétrographique en moyenne fort homogène, la veine Emilie présente, dans le groupe de Lens-Liévin, des variations verticales intéressantes dont on peut suivre latéralement l'évolution. Les variations latérales de faciès sont peu importantes et les causes des variations de certaines propriétés technologiques devront, pour cette veine, être recherchées ailleurs que dans les compositions en groupes de macéraux.

B. Composition macérale

1. Variations verticales

- de la veine Jeanne (figures VIII et IX de l'annexe).

L'examen des figures VIIIa à VIII m montre que les histogrammes varient peu en un point de prélèvement. De plus, en comparant toutes les analyses on remarque que sur les 104 histogrammes donnant la composition macérale de la veine aux différents points de prélèvements, 85 présentent des allures absolument similaires. Tous les échantillons contiennent de la sporinite, de la micrinite fine en proportion supérieure à celle de la micrinite massive et de la semifusinite en pourcentage plus élevé que celui de la fusinite. Ces caractères sont pratiquement constants du mur au toit des veines quel que soit le prélèvement considéré.

Les figures IX de l'annexe représentent les variations verticales des compositions macérales. Il apparaît que les variations des proportions d'inertinite constatées lors de l'étude des groupes de macéraux V, E, et I sont dues essentiellement aux pourcentages de semifusinite. La

Veines Macéreaux	JEANNE (J)	EMILIE (E)	J + E	Veines Macéreaux
Sporinite	-46.1	-63.2	-48.1	COLLINITE
Micrinite fine	-25.2		-18.5	
Micrinite massive	-44.6	-69.7	-40.1	
Semifusinite	-58	-52.2	-58.6	
Fusinite				
Micrinite fine	+34.4		+18.3	SPORINITE
Micrinite massive	+49	+67.8	+50.8	
Semifusinite	+35.8	+37.2	+34.3	
Micrinite massive	+24.9			MICRINITE FINE
Semifusinite	+24.8	+42.5	+15.8	
Semifusinite	+41		+30.1	MICRINITE MASSIVE

Tabl. IO. - Corrélations intermacérales relatives aux veines Jeanne (J)
et Emilie (E) prises séparément et ensemble (J + E).

micrinite fine, bien que plus abondante que la semifusinite, montre peu de variations verticales dans les dépôts. Les recherches opérées sur ordinateur au Laboratoire de Calcul de la Faculté des Sciences de Lille ont montré que 78.3 % des variations de l'inertinite sont directement liés à celles de la semifusinite. Il est par ailleurs difficile de dégager des caractères particuliers de phénomènes de dépôt tant les variations verticales sont de peu d'importance. On arrive parfois à discerner dans quelques prélèvements une tendance à une augmentation progressive des proportions de corps figurés au fur et à mesure de la sédimentation. Cependant, en raison de l'allure très homogène des dépôts il est très difficile de circonscrire les faits avec une grande précision.

- de la veine Emilie (figures V et VI de l'annexe)

Les remarques faites pour la veine Jeanne s'appliquent à la veine Emilie et, là encore, l'homogénéité du dépôt constitue la règle générale. Sur 84 histogrammes, 60 présentent des allures absolument identiques. Certains niveaux font bien entendu exception. Ainsi le niveau 2 de E1 (fig. VIa) et le niveau 4 de E8 (fig. VIh) se différencient des autres niveaux par des proportions plus grandes de sporinite, micrinite et semifusinite.

En définitive, force nous est de constater cette grande similitude dans l'allure verticale des dépôts des veines Jeanne et Emilie.

2. Variations latérales

Les résultats précédents ne sont évidemment pas très prometteurs. Les histogrammes des échantillons moyens de chaque point de prélèvement figurés sur les tableaux 8 et 9 présentent tous la même allure. L'uniformité du dépôt ainsi constatée, il restait à soumettre les analyses à l'ordinateur pour tenter de trouver parmi tous les composants ceux qui déterminaient le faciès de chacune des veines.

Le tableau 10 montre les corrélations entre les macéraux pris deux à deux dans les veines Jeanne et Emilie d'abord considérées séparément puis ensemble. Il n'a été tenu compte que des corrélations présentant une grande crédibilité. On constate que les plus importantes sont celles qui lient la sporinite, la micrinite massive et la semifusinite. Par ailleurs, les résultats des analyses macérales montrent qu'en règle générale,

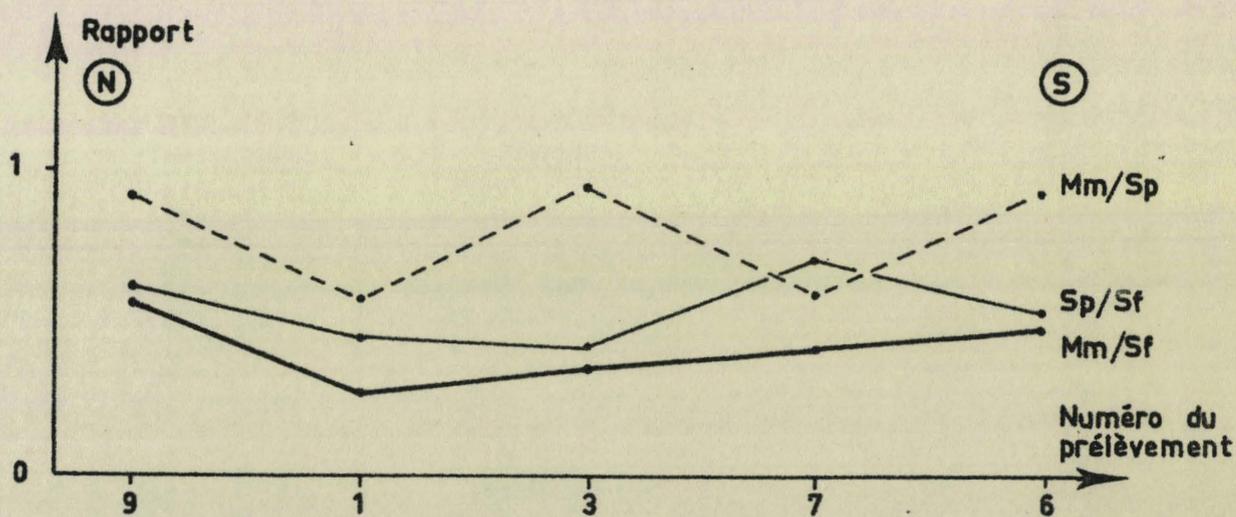
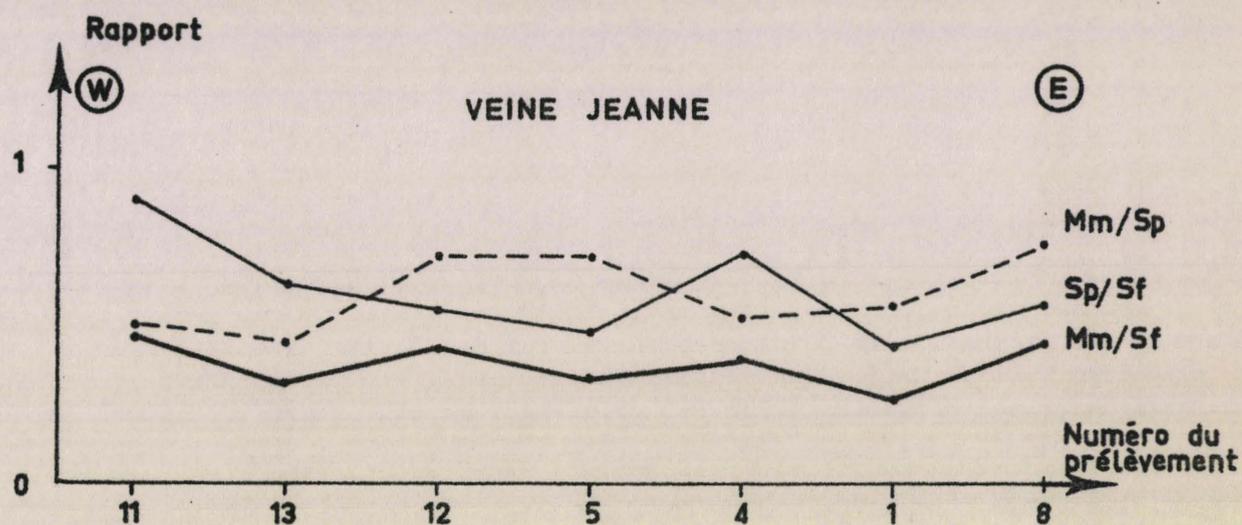
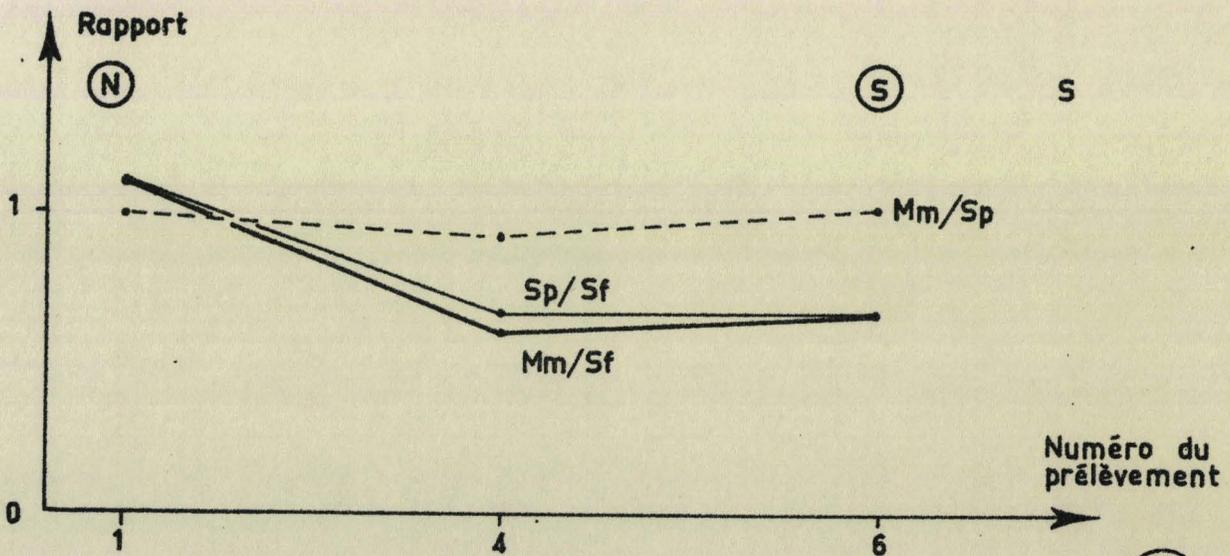
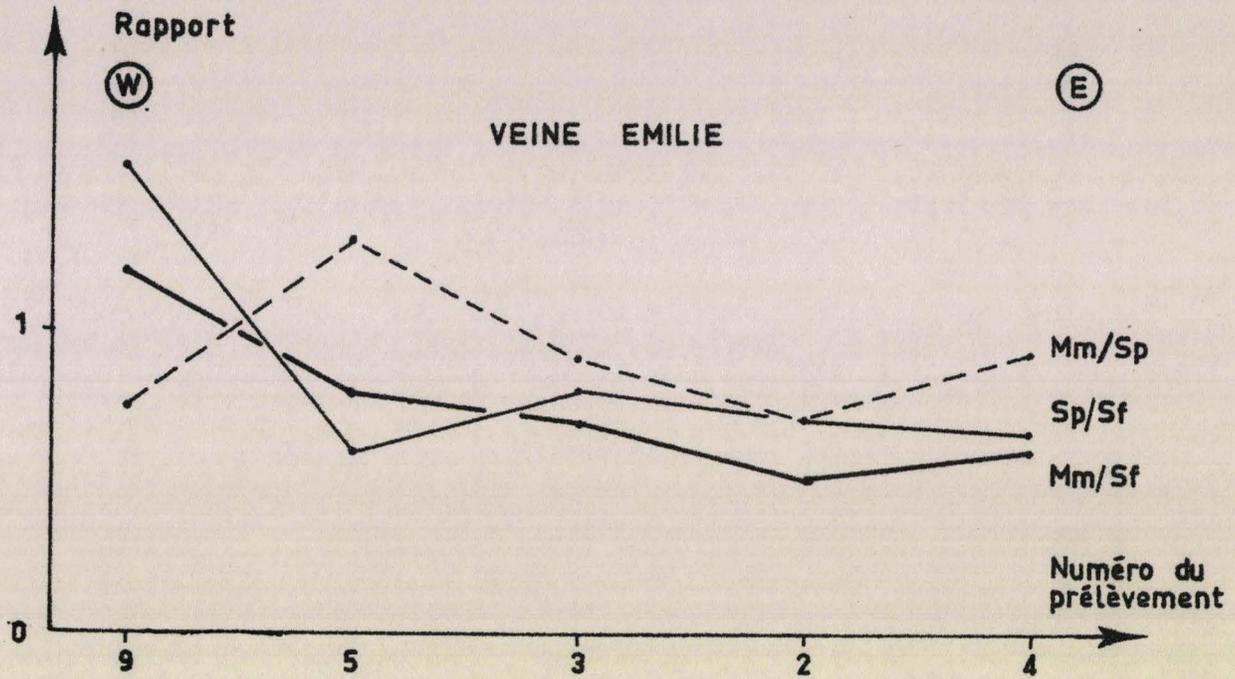


Fig. 31. — VARIATIONS LATÉRALES DES RAPPORTS Mm/Sp, Mm/Sf ET Sp/Sf DE LA VEINE JEANNE.

BUS
LILLE



BUS
LILLE

Fig. 32. — VARIATIONS LATÉRALES DES RAPPORTS Mm/Sp, Mm/Sf ET Sp/Sf DE LA VEINE EMILIE.

ces veines contiennent en moyenne des proportions de composants obéissant à la relation $Mm < Sp < Sf$ ou $Sp < Mm < Sf$.

On remarque que ces relations avaient déjà été mises en évidence lors de l'étude des veines voisines du Tonstein Patrice dans le groupe de Lens-Liévin. Dans la région centrale du bassin houiller, les caractères pétrographiques des dépôts phytogènes restent donc relativement constants au fur et à mesure que l'on monte dans la série stratigraphique. Toutefois les proportions macérales sont assez voisines et les rapports entre les composants principaux diffèrent peu. Ainsi, la figure 31 représente des variations latérales W-E et N-S des rapports Mm/Sp , Sp/Sf et Mm/Sf . Bien que les valeurs soient similaires on constate, dans la majorité des cas, que le rapport Mm/Sf est ^{le} plus petit et Mm/Sp le plus grand. Cette observation est encore valable pour la veine Emilie (fig. 32).

Je tiendrai compte de ces résultats importants quand je procéderai à l'étude des variations de certains caractères physiques et chimiques de ces houilles. Cette monotonie du faciès des veines Jeanne et Emilie du groupe de Lens-Liévin d'une part, et les rapports entre le degré de houillification de ces combustibles et leurs caractères pétrographiques d'autre part, permettront de préciser leurs conditions de sédimentation et les processus diagénétiques qu'elles ont subis.

3. Composition pétrographique des veines de houilles rencontrées dans le sondage Loos 5 (Groupe de Lens-Liévin)

Un sondage effectué dans le groupe de Lens-Liévin a recoupé la quasi-totalité du Westphalien. On trouve en annexe (fig. X) des renseignements concernant ce sondage. Ce sondage a traversé 17 veines ou passées dont j'ai eu la chance de pouvoir disposer. Ces échantillons présentent un intérêt tout particulier car leur étude a permis de faire des observations en un lieu donné, sur une verticale et de préciser les conditions de dépôt de la houille en cet endroit pendant la majeure partie de la période westphalienne (Westphalien A, B et C). J'ai montré (E. Mériaux, 1963) que pétrographiquement tous ces charbons appartiennent au même type désigné par A. Duparque (1933, p. 554) sous le terme de charbons

ligno-cellulosiques. Les analyses macérales ont permis de discerner la nature exacte de ces combustibles. Ces houilles contiennent peu de sporinite, des proportions de micrinite fine généralement supérieures à celles de la micrinite massive et les pourcentages de semifusinite sont plus importants que ceux de la fusinite. Par ailleurs, la relation $Mm < Sp < Sf$ déjà mise en évidence à propos d'autres niveaux de ce groupe d'exploitation, s'applique encore ici. On constate donc sur une verticale, en ce point particulier, une remarquable constance des compositions macérales des houilles westphaliennes.

IV. Conclusions du chapitre premier

L'utilisation de techniques modernes a permis, en faisant abstraction de l'évolution géochimique des houilles étudiées, d'exhumer leur composition macérale avec une grande précision et de dégager un certain nombre de conclusions d'ordre sédimentologique et paléogéographique.

L'étude d'accumulations phytogènes peu évoluées a porté :

- sur des combustibles situés au voisinage immédiat du Tonstein Patrice et répartis sur la quasi-totalité du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais,

- sur des veines exploitées dans le groupe de Lens-Liévin et qui ont été soumises à un échantillonnage serré,

- sur des charbons prélevés sur une verticale dans le sondage Loos 5 du groupe de Lens-Liévin.

L'étude de la composition en groupes de macéraux permet de tirer les conclusions suivantes :

1°) Dans chacun des cas, l'étude pétrographique a montré que la composition en groupes de macéraux est très homogène.

2°) En ce qui concerne les veines voisines du Tonstein, l'étude des variations verticales de la composition en V, E et I en chaque point de prélèvement a permis de mettre en évidence une allure pulsée des apports en exinite et en inertinite.

3°) ayant pu suivre latéralement avec précision les variations de la composition en V, E et I grâce à l'indicateur chronologique que constitue le Tonstein Patrice, j'ai constaté que les changements s'effectuent dans le même sens et selon un ordre de grandeur assez constant. On décèle un décalage chronologique de l'allure générale des fluctuations entre les dépôts de la région centrale et ceux de la région occidentale du bassin. Ainsi, en suivant de l'Est vers l'Ouest, c'est à dire du point de prélèvement 17 (Fosse 8 de l'Escarpelle) au point de prélèvement 5 (Fosse 4 de Bruay), les dépôts présentant des pourcentages maximaux en corps figurés, on voit que leur formation s'est produite à l'Est au mur de Patrice et a gagné progressivement la région ouest où ils sont contemporains du Tonstein. Il y a donc là, d'une manière générale, une polarité des apports en corps figurés tant exinitiques qu'inertinitiques de la région centrale du bassin vers la région occidentale.

Au-delà de la fosse 4 de Bruay, la composition pétrographique subit de profonds changements qui masquent ce phénomène. La comparaison des dépôts situés de part et d'autre du Tonstein Patrice a montré par ailleurs que ce niveau particulier ne constitue pas une coupure dans le processus sédimentaire propre aux accumulations phytogènes.

4°) Dans l'épaisseur des veines Jeanne et Emilie, j'ai pu mettre en évidence des changements progressifs des teneurs en V, E et I. La comparaison des résultats obtenus en différents points du groupe de Lens-Lièvin, a permis de montrer qu'une variation du pourcentage des différents apports à un moment donné affecte, d'une manière générale, une grande étendue de la lagune.

5°) Les fluctuations du pourcentage de la vitrinite dont la majeure partie est constituée de collinite sont en concordance avec l'allure du bassin. J'ai démontré en effet que lorsque le fond du bassin houiller présentait une zone en creux,

les dépôts phytogènes s'enrichissent en collinite, et à un bombement du fond correspondent des combustibles bien moins riches en collinite. Cette concordance entre les variations pétrographiques et l'allure du fond du bassin montre que l'aire de sédimentation devait, elle aussi, esquisser cette allure.

De l'étude des compositions macérales, nous pouvons retenir les faits essentiels suivants :

1° - D'une manière générale, en chacun des points étudiés, aussi bien dans le cas de houilles réparties sur une verticale ayant recoupé la quasi-totalité du Westphalien que dans celui des veines voisines du Tonstein Patrice, les compositions macérales moyennes des combustibles accusent peu de variations. Cependant l'examen des rapports entre les principaux constituants a permis de définir des aires de sédimentation caractérisées par des relations intermacérales spécifiques. Ainsi, j'ai mis en évidence que les accumulations végétales de la région centrale du bassin obéissent aux relations :

$$\text{Sp} < \text{Mm} < \text{Sf} \quad \text{ou} \quad \text{Mm} < \text{Sp} < \text{Sf}$$

et celles de la région occidentale à la relation :

$$\text{Mm} < \text{Sf} < \text{Sp} \quad \text{ou plus rarement} \quad \text{Sf} < \text{Mm} < \text{Sp}$$

Dans presque tous les cas, on le voit, les proportions de micrinite massive sont inférieures à celles de semifusinite.

2° - La comparaison des proportions de fusinite et de semifusinite contenues dans les veines Rosalie, Amélie et Rufine où leurs homologues, a permis de montrer que les aires des dépôts phytogènes présentant des pourcentages de fusinite supérieurs à ceux de semifusinite s'étaient étendues progressivement. On constate en effet, à partir de la zone sud de la région centrale du bassin et au fur et à mesure que l'on monte dans la série stratigraphique, une extension progressive

vers le Nord et l'Ouest des aires où les accumulations végétales obéissent à la relation $F > Sf$. Par ailleurs, selon ces directions, j'ai montré que les proportions de semifusinite diminuent. Enfin, dans la région située à l'Ouest de la fosse 4 de Bruay les dépôts sont très riches en sporinite et, là, les phénomènes généraux mis en évidence ne s'appliquent plus avec la même rigueur.

Les résultats pétrographiques obtenus dans ce premier chapitre ne sont pas en accord avec une répartition en bandes, parallèles à la limite nord du gisement (tabl. 1), de houilles présentant des compositions macérales définies. Il apparaît ici une différence très importante entre la distribution nord-sud des types de houille proposée par A. Duparque (1933) à l'issue de l'étude de la veine Poissonnière d'une part et la très grande homogénéité du faciès pétrographique des combustibles voisins de Patrice et la répartition particulière des tissus ligneux mises en évidence ici d'autre part. Il s'agit bien entendu de niveaux différents de ceux étudiés par A. Duparque, et les conditions qui régnaient lors du dépôt de la veine Poissonnière ont donc pu être modifiées ultérieurement.

Signalons à ce sujet que la partie occidentale du bassin recèle des accumulations végétales particulièrement riches en sporinite. Ces constituants des houilles peuvent être transportés par le vent et dans l'eau. L'ensemble des observations permet d'imaginer que ces régions ont été privilégiées en raison d'une orientation préférentielle des vents d'une part et de l'existence probable de courants aquatiques est-ouest d'autre part. La répartition des menus débris ligneux transportés par l'eau atteste la réalité de ce dernier phénomène.

On admet généralement dans l'étude des séquences du houiller que le dépôt phytogène représente le terme ultime d'une séquence positive. Par ailleurs, "le dépôt des stériles sur une grande étendue se fait par apports pulsés" (A. Bouroz, 1958). Cependant, si l'on peut suivre aisément une succession de plusieurs pulsations matérialisées par la superposition de séquences entre deux

veines. les variations à l'intérieur des veines sont beaucoup moins nettes. L'analyse fine des accumulations végétales a permis de mettre en évidence des fluctuations lentes dans l'épaisseur d'une veine et d'allure pulsée à plus grande échelle.

Pourtant, l'accumulation d'épaisseur égale de sédiments exige un temps beaucoup plus long pour les combustibles que pour les stériles (A.Bouroz, 1967 b ; J.Chalard, 1967).

Nous dirons que la somme des conditions nécessaires à la formation d'une veine de houille correspond à un ensemble de facteurs qui varie peu d'une part et résulte de causes de grande amplitude d'autre part. Les variations sont dues à des fluctuations du pourcentage de la collinite par rapport aux autres composants. La proportion de ciment est directement liée à l'allure du fond de la lagune et on notera à ce sujet l'importance des phénomènes généraux pour l'acquisition de la nature pétrographique du dépôt. En ce qui concerne les corps figurés, les variations des teneurs en inertinite par rapport à celles des proportions d'exinite ne peuvent s'expliquer de la même manière. Ces fluctuations d'allure pulsée traduisent des modifications dans les apports. On conçoit aisément que les pourcentages en matériels exinitiques et inertinitiques pouvaient varier en fonction de l'évolution de la forêt nourricière.

Enfin, les courants sud-nord issus de la marge méridionale du bassin sont responsables de l'extension progressive des aires présentant des combustibles contenant des proportions de fusinite supérieures à celles de semifusinite. Cela montre que :

- la sélection s'opérait dans une zone marginale au-delà de laquelle le phénomène n'est plus observé,
- la sélection s'effectuait seulement sur ces macéaux (F et Sf) sans que les pourcentages des autres composants soient influencés. Il est logique de penser que l'extrême petitesse de ces derniers constituants favorisait leur égale répartition,

- l'extension de la marge où l'action des courants est perceptible est à rattacher, semble-t-il à un soulèvement, dès cette époque, du bord sud du bassin.

CHAPITRE DEUXIEME

LA DETERMINATION DU RANG

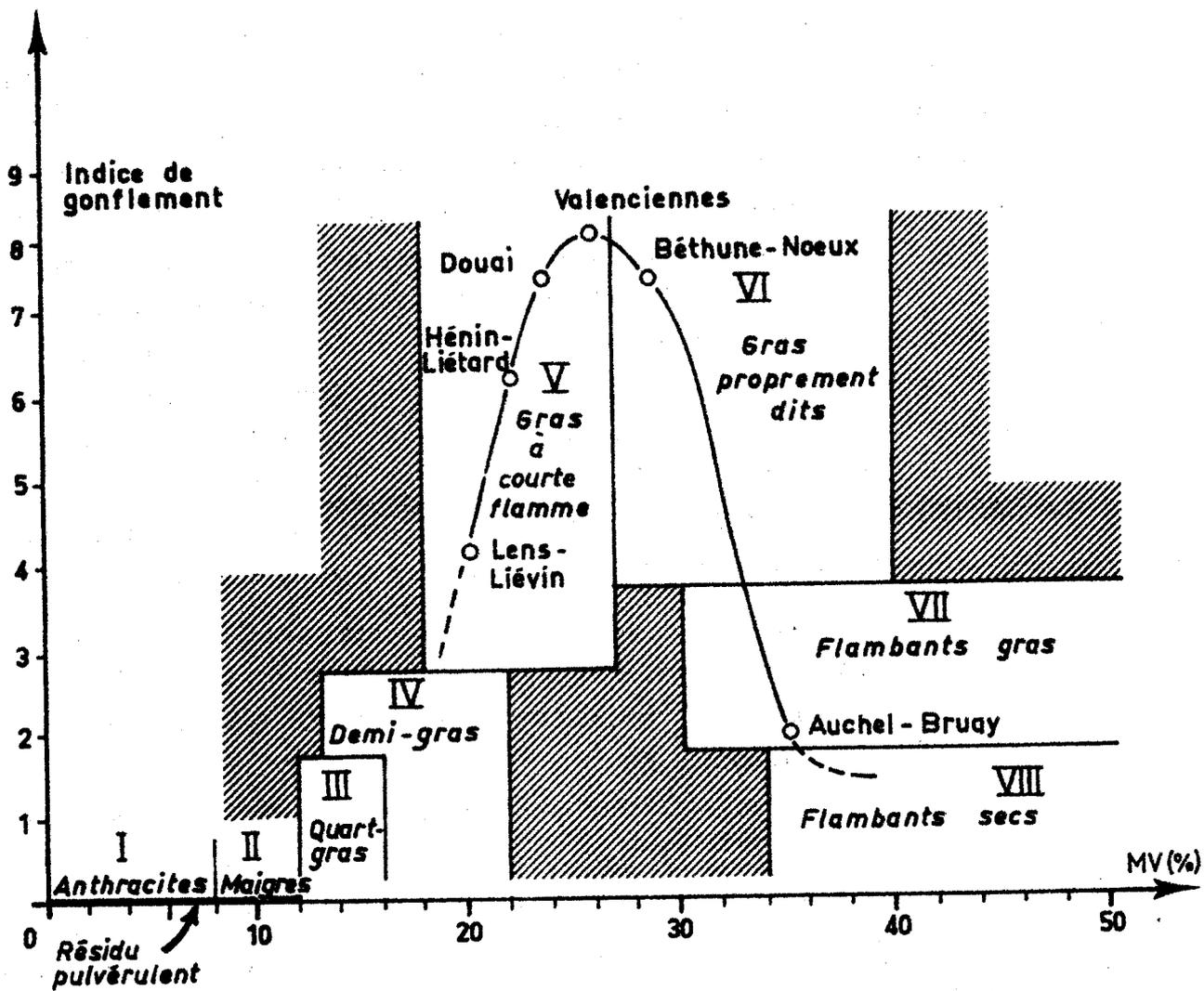
"Le rang désigne le stade atteint par le charbon au cours de la houillification". Cette définition nous est fournie par le lexique international de pétrographie des charbons (C.I.P.C., 1963). Les critères de classification sont multiples (cf. W. Francis, 1961) et on utilise généralement pour préciser le rang d'un combustible des méthodes physiques, chimiques et physico-chimiques: densité vraie, microdureté de la vitrinite, recherches aux rayons X, indice de matières volatiles, composition élémentaire. En 1960, K. Patteisky et M. Teichmüller ont donné une représentation des méthodes de détermination du rang. Les différences de teneur en eau et la chaleur de combustion du vitrain non cendreuse y constituent deux méthodes nouvelles. Récemment, M. Teichmüller (1963), H. Damberger, G. Kneuper, M. Teichmüller et R. Teichmüller (1964) et M. Teichmüller et R. Teichmüller (1966) ont généralisé l'application de ces méthodes d'appréciation du degré de houillification des combustibles.

Pour l'étude des charbons du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais j'ai particulièrement utilisé :

- les teneurs en matières volatiles (1) et les indices de gonflement,
- la valeur de la microdureté Vickers et du pouvoir réflecteur de la collinite,
- la perméabilité de lames minces en diascopie infra-rouge.

En outre, des corrélations entre les divers paramètres des houilles étudiées ont été recherchées sur ordinateur au Laboratoire de Calcul de la Faculté des Sciences de Lille. Chaque niveau étudié est

(1) La norme NF M03-004 (1967) fait observer que la désignation "teneur en matières volatiles" est impropre. Cependant j'ai continué à utiliser plutôt "qu'indice de matières volatiles" le terme teneur en matières volatiles consacré par l'usage courant.



BU
LILLE

Fig. 33. — CLASSIFICATION DES CHARBONS. AF NOR. M10-001.

caractérisé par les valeurs des 18 paramètres suivants :

- sa composition macérale (10 paramètres) en collinite, télinite, sporinite, cutinite, résinite, micrinite fine, micrinite massive, sclérotinite, semifusinite et fusinite,
- ses teneurs en matières minérales (déterminées par l'analyse chimique et par la technique du comptage par points),
- sa composition en groupes de macéraux : vitrinite, exinite et inertinite,
- son pouvoir réflecteur,
- sa teneur en matières volatiles,
- son indice de gonflement.

Les corrélations deux à deux de ces divers paramètres ont permis de mettre en évidence certains phénomènes déterminants dans la recherche du rang des houilles et des causes essentielles du processus général de houillification.

I. TENEURS EN MATIERES VOLATILES ET INDICE DE GONFLEMENT

La terminologie utilisée en France pour désigner les houilles fut longtemps celle de A.Grüner (1874). Cette classification est essentiellement basée sur le caractère "teneur en matières volatiles" (MV). Le système de Loiret substitua à ce critère celui de la "nature du coke" (1). Ce système fut amélioré par Grüner-Bousquet (1911, in D.W. Van Krevelen, 1961, p.II) en précisant le pourcentage de coke obtenu, le pouvoir calorifique (en calories), la composition en carbone, hydrogène, oxygène plus azote et l'indice constitué par le rapport oxygène plus azote sur hydrogène. Récemment, l'association française de normalisation (N.F. M10.001, 1950) a adopté pour classer les houilles un second paramètre : l'indice de gonflement (IG). En fonction de leur teneur en matières volatiles et de leur indice de gonflement on distingue alors (fig. 33) 8 catégories de charbons : les anthracites (I), les maigres (II), les quart-gras (III), les demi-gras (IV), les gras à courte flamme (V), les gras proprement dits (VI), les flambants gras (VII) et les flambants secs (VIII).

(1) On trouvera in A.Duparque (1933, p.554) la concordance des classifications Grüner et Loiret.

La figure 33 montre bien que la teneur en matières volatiles et l'indice de gonflement des houilles ne varient pas de manière linéaire. Dès 1957, A.Bouroz avait constaté que l'indice de gonflement ne "semblait pas être en relation directe avec la loi de Hilt". Ce paramètre apparaît beaucoup plus lié aux caractères acquis primitivement, c'est-à-dire en définitive aux conditions de dépôt. Quand les renseignements pétrographiques et paléontologiques sont insuffisants, l'indice de gonflement peut alors être utilisé comme paramètre d'étude du terrain houiller (A.Bouroz, 1957). Il ne faut cependant pas oublier l'importance des relations existant entre la teneur en matières volatiles et la composition pétrographique des houilles (A.Duparque, 1933). Toutefois, il semble qu'en face des modifications géométriques ayant affecté le bassin, l'indice de gonflement et la teneur en matières volatiles des houilles se sont comportés différemment. Dans ces conditions, il était intéressant de rechercher les corrélations entre la composition macérale des houilles, leur teneur en matières volatiles d'une part et leur indice de gonflement d'autre part.

1. Etude des veines voisines du Tonstein Patrice

A la lumière des très nombreux résultats d'analyses, il apparaît, d'une manière générale, que les houilles du groupe d'Auchel-Bruay appartiennent au type VII, celles du groupe de Béthune-Noeux au type VI, celles des autres groupes d'exploitation au type V. Ces deux dernières catégories étant assez proches l'une de l'autre.

A cet effet, j'ai représenté sur les figures IIIa à IIIv de l'annexe les variations verticales des pourcentages des différents macéraux, des minéraux et celles des teneurs en cendres, matières volatiles et indices de gonflement. Les 20 figures ainsi composées permettent de suivre les influences des caractères pétrographiques sur certains caractères chimiques et physiques des combustibles.

Pour chaque lieu de prélèvement, on constate que les veines ou passées voisines du Tonstein Patrice appartiennent à une même catégorie chimique, les différences des teneurs en matières volatiles étant en général, assez faibles et les valeurs des indices de gonflement toujours

INDICE DE GONFLEMENT							
	Auchel- Bruay	Béthune- Noeux	Lens- Liévin	Hénin- Liétard	Douai	Valencien- nes	Bassin
Collinite		+33		+19		+32 *	+6.7 *
Télinite							-3.7
Sporinite		-42.1	+27.8		+28		-10 *
Cutinite		-52.8					-7.3 *
Résinite		-62.7*					-9.5 *
Micrinite fine	+8		+21.8		+77 *	-31.6 *	
Micrinite massive		-47.8		-12.8		-15.7	-7.8 *
Sclérotinite		-26.8				-38.3 *	-1.7
Semifusinite				-21.7			
Fusinite			+29.2*	-20.6			+6.2 *
Matières minérales			-34.9*		-49.2	-14.2	
Vitrinite		+28	-29.8*	+18.3		+19.1	+3.1
Exinite		-44.6	+28.6*				-12.1*
Inertinite			+24.8	-18.5		-22.1	
Pouvoir réflecteur	+22.8*	+42.1	-33.4*				+12.9*
Cendres			-40.3*			-43.6 *	-6.8 *
Matières Volatiles		-49.2	+45 *	+21.8			-5.3 *

Tabl. 11. - Valeurs (%) des corrélations entre l'indice de gonflement et les autres paramètres des houilles (* Probabilité et crédibilité fortes).

du même ordre de grandeur. On remarque aussi qu'à des augmentations des pourcentages des teneurs en vitrinite et plus précisément en collinite correspondent des valeurs décroissantes des teneurs en MV. Par contre, l'accroissement du pourcentage des teneurs en matières volatiles à certain niveau des veines correspond toujours à des proportions accrues de matériel exinitique essentiellement constitué de spores. Les diminutions des teneurs en matières volatiles sont plus directement liées à l'augmentation des pourcentages de l'inertinite - généralement la semifusinite et la fusinite - dans les houilles étudiées. La présence de cendres entraîne toujours une diminution des teneurs en MV et des valeurs des IG. Ces observations sont corroborées par les résultats des recherches sur ordinateur de corrélations entre ces divers paramètres.

L'examen des corrélations figurées sur le tableau 11 montre que, d'une manière générale, pour les charbons étudiés :

- l'indice de gonflement et la teneur en matières volatiles varient en sens inverse,
- la probabilité et la crédibilité de la corrélation sont fortes (probabilité = 0.000128 et crédibilité = 99.99 %),
- la valeur de la corrélation est faible (5.3 %).

Le système AFNOR, qui, rappelons-le, emploie ces deux paramètres, est d'utilisation pratique pour la classification commerciale des houilles. D'une manière générale, les liens unissant l'indice de gonflement et les teneurs en matières volatiles étant faibles, les domaines attribués sur la figure 33 pour définir les types V et VI sont finalement très semblables et dans ces cas, la teneur en matières volatiles est suffisante pour les différencier. Cependant, l'étude systématique des analyses chimiques permet de préciser que :

- pour les houilles du type V, auxquelles sont rattachés les combustibles des groupes de Lens-Liévin et d'Hénin-Liétard, les variations de l'indice de gonflement et de la teneur en matières volatiles sont proportionnelles. Les valeurs des corrélations sont respectivement égales à 45 % et 21.8%. La probabilité et la crédibilité sont très élevées pour les houilles de Lens-Liévin et faibles pour celles d'Hénin-Liétard,

- pour les combustibles du type VI, auxquels appartiennent les charbons du groupe de Béthune-Noeux, l'indice de gonflement et les teneurs en matières volatiles varient en sens inverse. La corrélation bien que forte (49.2 %) est entachée d'une probabilité et d'une crédibilité faibles,
- Enfin, les analyses sur ordinateur n'ont pas révélé de corrélations entre ces deux paramètres pour les houilles du groupe d'Auchel-Bruay (type VII) de Douai et de Valenciennes (type V). Les combustibles de Douai et de Valenciennes renferment respectivement, rappelons-le, environ 20.7 % et 24.7 % de matières volatiles pour des indices de gonflement de 7 et 8. Ces caractères les placent au point d'inflexion haut de la courbe de la figure 33. Les houilles d'Auchel-Bruay correspondraient, quant à elles, à un point d'inflexion bas de la courbe de la même figure. Enfin, le manque d'information dans le domaine des houilles de type VIII ne permet pas d'apporter de précisions supplémentaires.

La classification pétrographique proposée par A. Duparque est basée sur les teneurs en cutine, en tissus ligneux bien conservés ou altérés et en ciment des houilles. A. Duparque a établi le principe d'un parallélisme existant entre la classification chimique des combustibles solides et leur composition pétrographique. Le tableau 12 précise la valeur des rapports existant entre les macéraux, les groupes de macéraux, les minéraux et certaines propriétés physiques des charbons. Il apparaît que les variations des teneurs en matières volatiles sont :

- directement liées (21.8 %) aux variations des teneurs en exinite des houilles. L'exinite est, dans les charbons étudiés, presque essentiellement constituée de sporinite. La probabilité et la crédibilité des corrélations entre la résinite et la cutinite d'une part et les matières volatiles d'autre part sont fortes. Cela tient, bien évidemment, au fait que ces macéraux sont des constituants accessoires,
- inversement proportionnelles aux variations de teneurs en vitrinite dans la proportion de 7.2 %,

- dépendent, dans la plupart des cas, beaucoup plus des teneurs en exinite que des teneurs en inertinite. Toutefois, il faut remarquer que la présence de micrinite fine ou massive tend à élever les teneurs en matières volatiles. Pourtant on sait que les tissus ligneux se comportent comme des matières inertes. Mais, il semble que l'extrême morcellement et l'émiettement de ces tissus organisés dont la micrinite massive et la micrinite fine sont les témoins, peuvent être tenus pour responsables du sens à attribuer à ces variations,
- inversement proportionnelles au pouvoir réflecteur. Ces deux paramètres sont fortement "correlés" (68.7 %). La probabilité (0.000000) et la crédibilité (100 %) sont très importantes. Je préciserai plus loin les relations entre le pouvoir réflecteur et la composition macérale des combustibles.

Par ailleurs, le tableau 11 montre que les indices de gonflement des houilles sont :

- inversement proportionnels aux teneurs en exinite. 12.1 % des variations des valeurs des indices de gonflement sont influencées par les teneurs en exinite des charbons,
- faiblement liés à la composition macérale, à la teneur en cendres (6.8 %) à la teneur en matières volatiles (5.3 %) et du même coup au pouvoir réflecteur (12.9 %) des combustibles,
- la comparaison des tableaux 11 et 12 montre que l'indice de gonflement doit refléter une somme de conditions et de mécanismes physico-chimiques régnant au moment du dépôt et de la diagénèse précoce des combustibles ; les teneurs en matières volatiles et le pouvoir réflecteur qui lui est intimement lié, semblent dépendre plus directement de la nature des constituants et de leur état de fossilisation. Ces deux paramètres traduisent en définitive le rang des houilles.

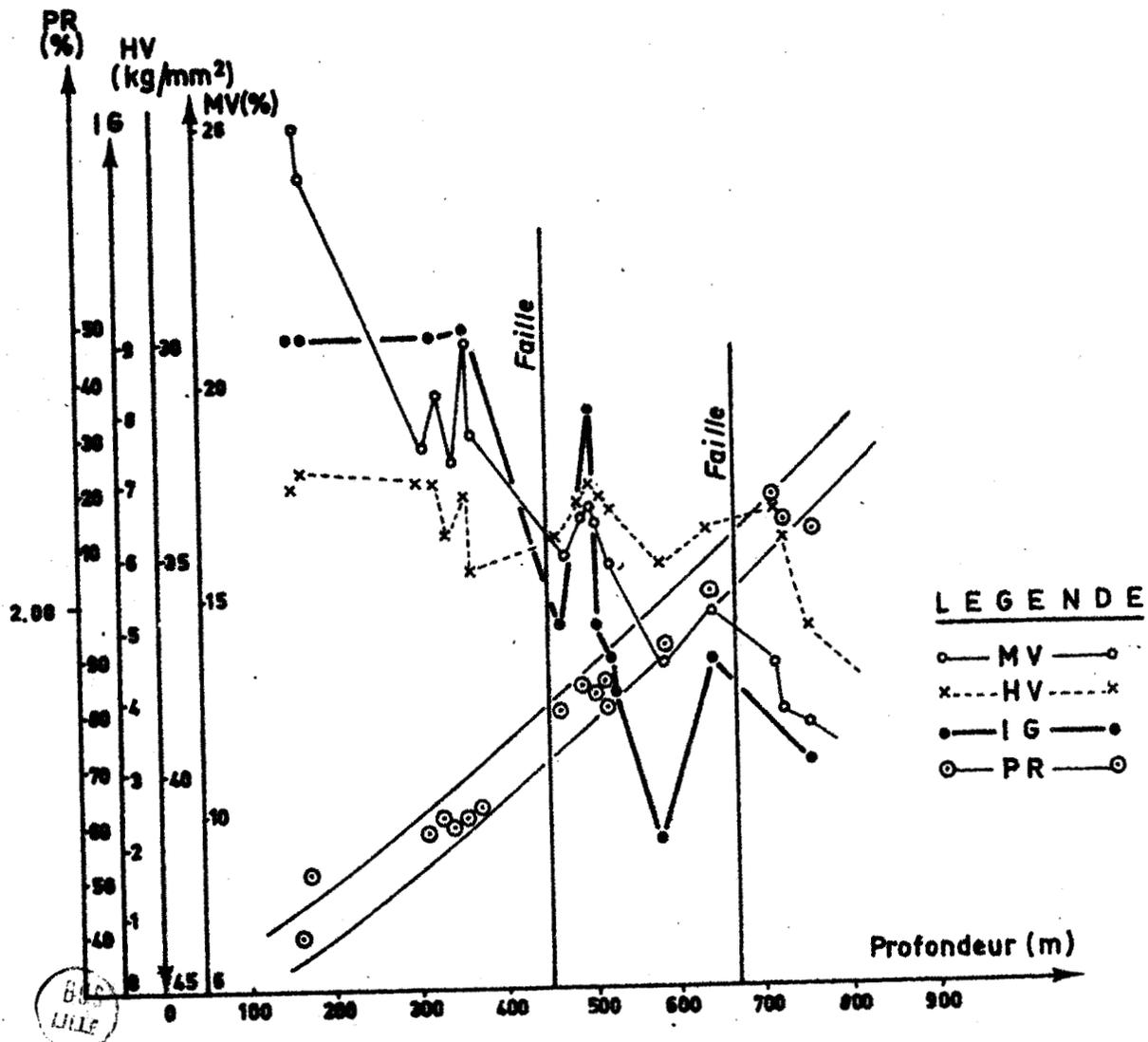


Fig. 34. — GROUPE DE LENS-LIEVIN. SONDAGE LOOS 5. TENEURS EN MATIERES VOLATILES, MICRODURETE VICKERS, INDICE DE GONFLEMENT ET POUVOIR REFLECTEUR EN FONCTION DE LA PROFONDEUR.



J'ai pu, grâce aux analyses des charbons prélevés dans le sondage Loos 5 et aux études des veines Emilie et Jeanne du groupe de Lens-Liévin, préciser ces remarques préliminaires.

2. Les houilles rencontrées en sondage et les veines Jeanne et Emilie du groupe de Lens-Liévin

J'ai montré (E. Mériaux, 1964a) que toutes les houilles provenant du sondage Loos 5 appartenaient sensiblement au même type pétrographique. Les mêmes conditions de dépôt ont donc régné en cet endroit, pendant la majeure partie de la période westphalienne. De plus, la règle de Hilt est respectée. En effet, les teneurs en matières volatiles (Ch. Delattre et E. Mériaux, 1964) diminuent régulièrement en descendant suivant la verticale, alors que pendant le même temps, la valeur moyenne du pouvoir réflecteur maximal augmente (E. Mériaux, 1964 b). Toutefois, l'examen des valeurs des indices de gonflement (fig. 34) montre que, malgré une diminution de cet indice en fonction de la profondeur à laquelle le charbon a été recueilli, la répartition verticale de la valeur de cet indice semble être en relation avec les unités tectoniques.

On constate en effet sur la figure 34 que dans ce sondage, il y a une variation quasi-régulière des teneurs en matières volatiles avec la profondeur d'une part et que les indices de gonflement subissent des sautes assez brutales au passage des failles d'autre part.

Par ailleurs, l'étude systématique de charbons prélevés en sondage dans le groupe de Lens-Liévin a permis aussi de montrer (R. Petit et M. Buisine, 1957) qu'il existait, pour les types de charbons étudiés dont la teneur en matières volatiles n'excède pas 27 % et au fur et à mesure qu'on descend dans la série stratigraphique, un parallélisme certain entre le pourcentage en matières volatiles et les indices de gonflement correspondants. Ces observations générales s'inscrivent normalement sur le schéma de la fig. 33. Toutefois, A. Bouroz (1957) a remarqué, pour les combustibles recueillis dans le sondage du Marais de Crespin du groupe de Valenciennes, un décalage entre ces deux paramètres. Là encore, l'indice de gonflement n'est pas en relation directe avec la loi de Hilt et,

	Jeanne		Emilie		Jeanne + Emilie	
	MV	IG	MV	IG	MV	IG
Collinite	+6.5	+5.4	+5.6		+10.4*	+3.6
Télinite			+8.4			
Sporinite	+5					
Micrinite fine	+8	+10.7		+5.9		+8.3*
Micrinite massive			-4.7			
Semifusinite			-5.3		-2.8	
Fusinite					-2.7	
Matières minérales	-44.8*	-47.6*		-19.9*	-24.7*	-34.6*
Vitrinite		-3.9				
Exinite	+4.7					
Inertinite		+3.9				
Pouvoir réflecteur	-7.9		-13.6*		-18.8*	
Cendres	-45.1*	-68.3*		-37.8*	-25.5*	-50.8*
Matières volatiles		+36.4*				+14.2*

BUS
VILLE

Tableau. 13. - Valeurs (%) des corrélations entre les teneurs en matières volatiles, les indices de gonflement et les autres paramètres des houilles des veines Jeanne et Emilie (* Probabilité et crédibilité fortes).

comme dans le sondage Loos 5, les variations régulières des teneurs en matières volatiles s'accompagnent de brutales sautes des indices de gonflement au moment du passage d'un massif tectonique à un autre.

L'étude des veines Emilia et Jeanne permet d'apporter quelques précisions sur ces phénomènes généraux.

L'étude des variations verticales des proportions en macéraux et de certains caractères chimiques et physiques (figures VIa à VIj et IXa à IXn de l'annexe) de ces deux veines permet de mettre en évidence les faits suivants :

- les compositions macérales de ces deux horizons montrent des différences peu importantes,
- les accroissements des proportions de collinite entraînent en général des augmentations des teneurs en matières volatiles et des indices de gonflement,
- par contre, à une augmentation des pourcentages de micrinite massive, de semifusinite ou de fusinite correspond un abaissement des teneurs en matières volatiles et des indices de gonflement,
- ces deux paramètres semblent peu liés. Toutefois, l'accroissement des indices de gonflement est généralement parallèle à celui des teneurs en matières volatiles. Les analyses, sur ordinateur, de ces veines prises d'abord séparément puis ensemble précisent ces résultats qualitatifs (tableau 13).

Géométriquement, ces deux veines, rappelons-le, s'enfoncent régulièrement vers le Sud du bassin (tableau 8). Elles sont localement affectées par des failles subverticales. J'ai montré précédemment que leur composition macérale globale en vitrinite, exinite et inertinite était pratiquement constante dans le groupe de Lens-Liévin. On peut donc s'attendre, conformément à la loi de Hilt, à un abaissement des teneurs en matières volatiles du Nord vers le Sud ; les points de cotes les plus profonds correspondant aux teneurs les plus faibles. J'ai donc reporté sur

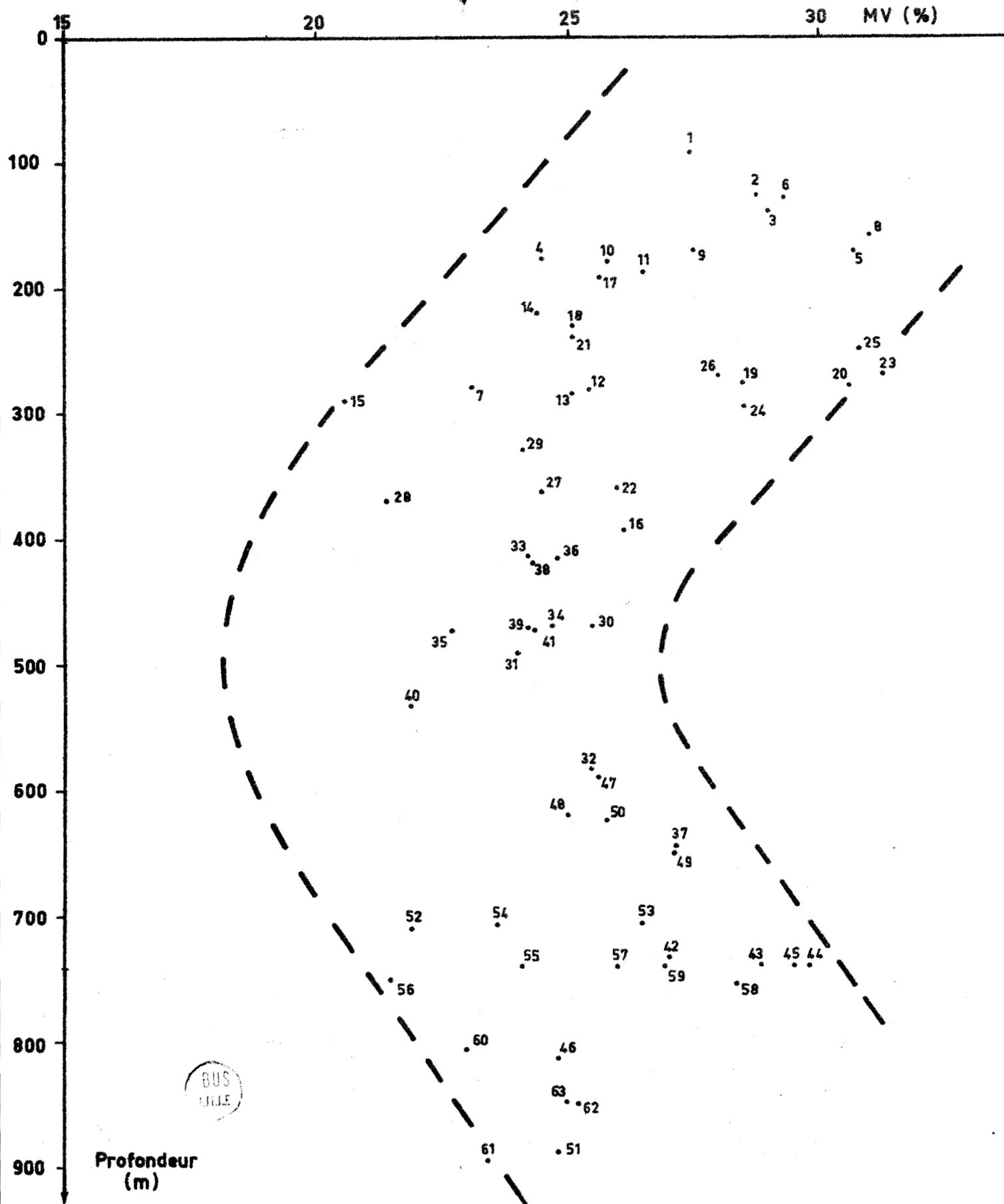


Fig. 35

— GROUPE DE LENS-LIEVINS - VEINE JEANNE INFERIEURE
VARIATIONS DES TENEURS EN MATIERES VOLATILES
EN FONCTION DE LA PROFONDEUR.

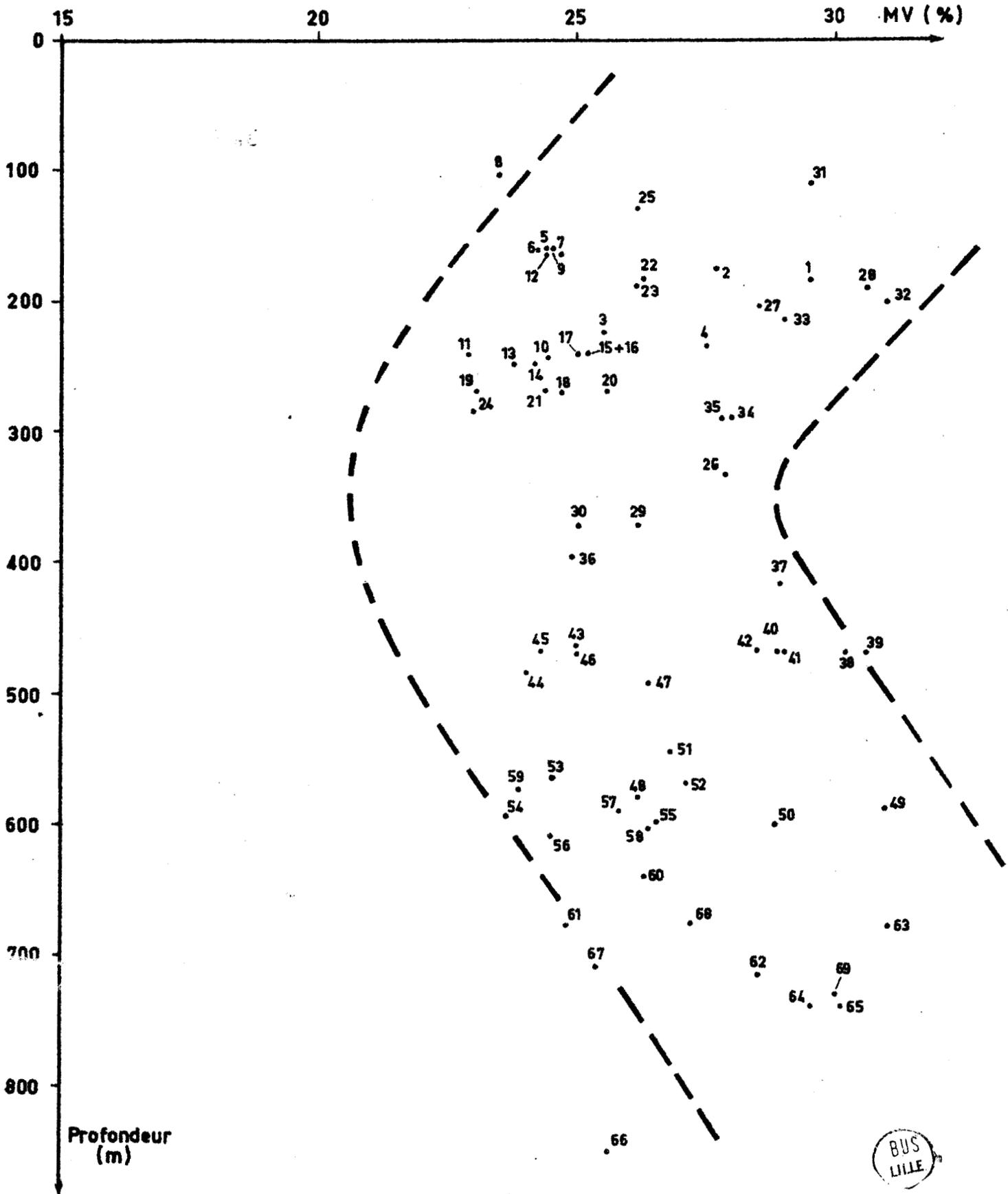


Fig. 36 — GROUPE DE LENS-LIEVIN. VEINE EMILIE
VARIATIONS DES TENEURS EN MATIERES VOLATILES
EN FONCTION DE LA PROFONDEUR.

les figures 35 et 36 les teneurs en matières volatiles en fonction de la profondeur à laquelle le prélèvement a été effectué. Il apparaît d'emblée que la loi de Hilt n'est pas entièrement respectée. En effet, dans les deux cas, la répartition des points obtenus s'inscrit dans un domaine dessinant un V couché. Les charbons des points les plus méridionaux bien qu'ils aient été enfouis très profondément ont donné autant de matières volatiles que ceux des zones les plus septentrionales plus proches de la surface actuelle.

Afin de préciser ces premières remarques, j'ai alors tenté de tracer les courbes d'isoteneurs en matières volatiles. En 1911, P. Gény avait étudié de cette manière la distribution des teneurs en matières volatiles dans les veines de la concession de Courrières. Il avait montré que malgré un parcours capricieux et des indentations profondes indépendantes du tracé des failles, ces courbes s'emboîtaient régulièrement. De plus, cet auteur avait observé une relation entre ces teneurs et les latitudes des veines. Ainsi la diminution des teneurs en matières volatiles avec la profondeur ne suffisait plus, à elle seule, à expliquer ces variations.

R. Petit et M. Buisine (1957) disposaient dans le groupe de Lens-Liévin d'un grand nombre d'analyses de cinq veines superposées. En raison de l'existence de deux systèmes de failles plates, divergentes vers le NW et vers le NE à partir du centre du groupe, les veines sont fractionnées en panneaux difficiles à raccorder. C'est pourquoi ces auteurs avaient procédé à un découpage du groupe en champs qui avaient été étudiés séparément. Les résultats ainsi obtenus complétaient en les précisant ceux que P. Gény avait découverts dans la concession voisine. Toutefois, une veine (Céline) présente des variations anormales par rapport aux autres veines étudiées. R. Petit et M. Buisine attribuent ces différences à des disparités des compositions originelles. Par ailleurs, l'évolution générale constatée dans les autres veines résulterait, pour ces auteurs, "de l'action, plus longue et peut-être plus intense de mêmes causes tectoniques ou autres sur des veines de compositions similaires mais de plus en plus anciennes".

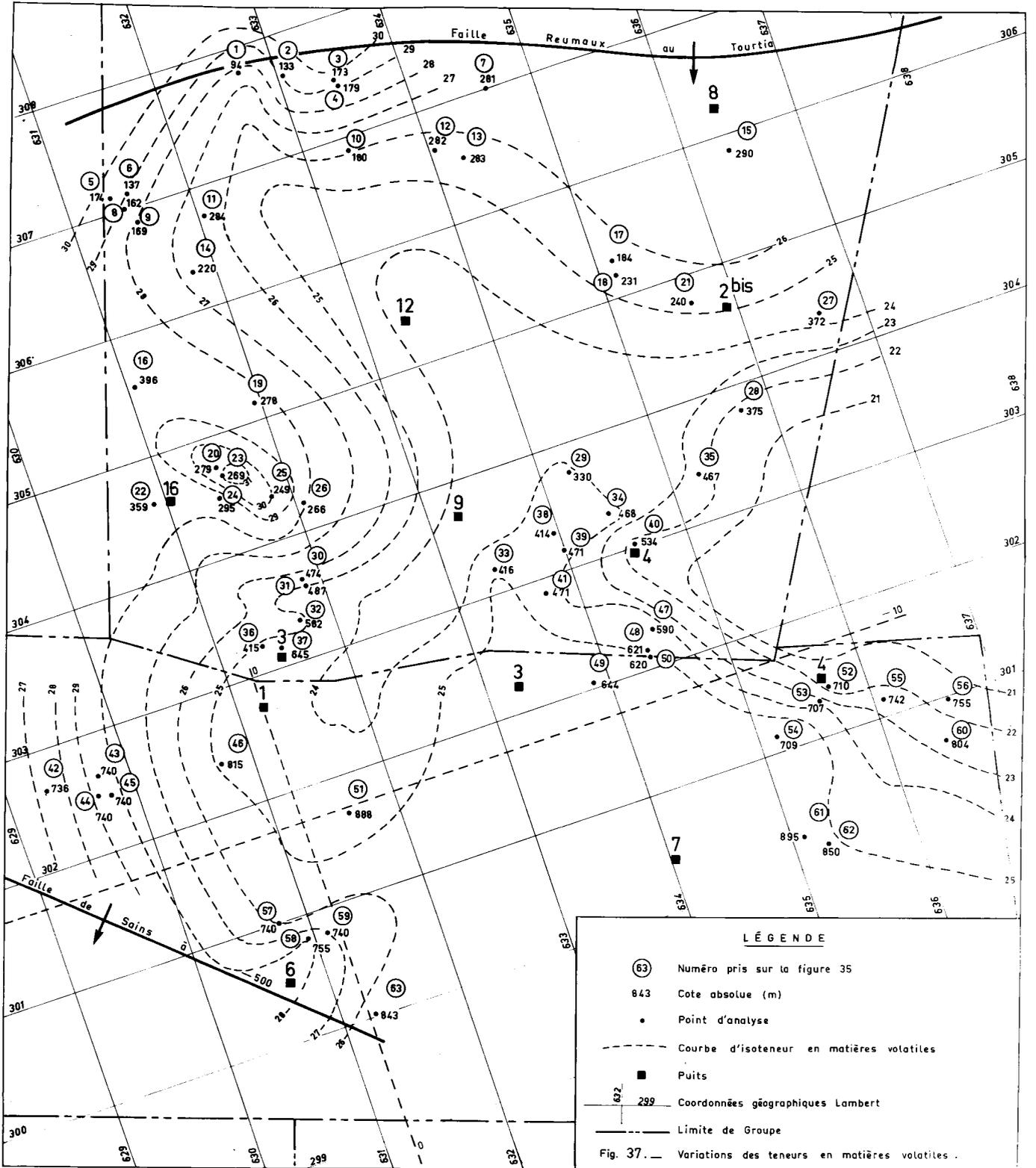


Fig. 37. — Variations des teneurs en matières volatiles.



J'ai pensé qu'il pouvait être intéressant de ne pas tenir compte des "blancs" entre panneaux constitués par des zones failleuses pour tracer les courbes d'égales teneurs en matières volatiles. En effet, on constate souvent dans les bassins certaines relations entre les conditions géologiques et la répartition du gaz dans les gisements (B.Alpern, 1967b).

J'ai alors dessiné, en réduisant au minimum le nombre de points aberrants, les courbes d'égale teneur en matières volatiles des veines Jeanne et Emilie (figures 37 et 38). Le tracé présente des lignes fermées ou des indentations profondes et nombreuses sans relation apparente avec les positions géographique et géométrique des veines dans le bassin. L'évolution est donc beaucoup plus complexe que ne le laissaient prévoir les figures 35 et 36. Les courbes isovolatiles de la veine Emilie ne s'emboîtent pas exactement dans celles de la veine Jeanne. Cependant on peut mettre en évidence une évolution régulière de leur tracé. En effet, la courbe 27 % allongée du N au S est sinueuse et étirée pour la veine Jeanne et plus anguleuse pour la veine Emilie. A l'Ouest, au niveau des parallèles Lambert 304 et 305 (fig. 37) la courbe 30 % est elliptique et allongée du N W au SE. Il est curieux de constater que cette courbe est comprise entre deux failles orientées selon cette direction et présentant un pendage nord pour la faille septentrionale et un pendage sud pour la faille méridionale. Le tracé de la courbe 30 % de la figure 38 est, lui aussi, fermé mais plus compliqué. Il présente une branche orientée du NW au SE et une branche sensiblement NE-SW. Ces orientations correspondent, remarquons-le, aux directions des failles qui affectent en ce point le bassin. La courbe 24 % de la veine Jeanne a une allure digitée s'estompant vers l'Est dans la veine Emilie.

Enfin, les analyses chimiques d'un grand nombre d'échantillons de ces veines ont révélé une grande régularité des valeurs des indices de gonflement quel que soit l'endroit du champ étudié. L'indice de gonflement des charbons de la veine Jeanne est en moyenne de 8.65 et celui des combustibles de la veine Emilie oscille aux environs de 8.75.

En définitive, on constate pour ces deux veines du groupe de Lens-Liévin s'enfonçant régulièrement du Nord au Sud :

- des compositions macérales semblables,
- une uniformité des indices de gonflement. Etant indépendant de la profondeur, l'indice de gonflement traduit donc bien les conditions de dépôt. Il apparaît en outre que des veines superposées d'un même horizon stratigraphique (R. Petit et M. Buisine, 1957), telles que Jeanne, Emilie, Omérine, Céline et Arago présentent des indices de gonflement fort semblables. Tout en constatant les variations que peut subir l'indice de gonflement selon l'âge du charbon, il faut admettre qu'en général, dans un sondage, une "saute" dans la valeur de ce paramètre correspond au passage d'un accident tectonique,
- des variations latérales des teneurs en matières volatiles des veines. Ces variations peuvent atteindre 8 ou 9 unités en quelques kilomètres et sont, dans ce cas, indépendantes de la profondeur,
- des variations des teneurs en matières volatiles selon une verticale (loi de Hilt). Cependant, malgré l'allure compliquée des courbes rabattues sur un plan, il est possible de retrouver une certaine concordance entre ces courbes d'une veine à l'autre. Les teneurs en matières volatiles diminuent du SW vers le NE tandis que les veines se rapprochent de la surface d'une part et que d'autre part, le plan des veines à un pendage N-S. Par conséquent, il apparaît qu'il n'y a pas de rapport absolu entre la profondeur et les teneurs en matières volatiles, à moins que ce rapport ne soit masqué par d'autres causes.

J.J. Stevenson (1894) puis P. Gény (1911) et X. Stainier (1943) ont énoncé une théorie selon laquelle les variations des teneurs en matières volatiles des veines de houille dépendent de l'épaisseur de la lame d'eau sous laquelle les combustibles se sont déposés. Les courbes des

figures 37 et 38 correspondraient alors aux anciennes courbes de niveaux des dépressions où s'accumulaient les matières végétales. A. Duparque (1933, p.536) a précisé, en le modifiant, ce point de vue. Il affirme que " *les courbes isoanthracitiques ne représentent pas exactement les courbes de niveau de la lagune houillère mais l'ensemble des points où le rapport existant entre la profondeur d'eau et son état d'agitation permettait la réalisation de conditions de sédimentation identiques*". De tels phénomènes ne sont peut-être pas étrangers à la formation de houilles présentant des teneurs en matières volatiles différentes et des compositions pétrographiques identiques. Cependant il ne doit pas être possible de généraliser cette observation car A. Strahan, W. Pollard et E. G. Radley (1908) ont montré qu'il n'y a pas de relation entre la composition des charbons et la forme du bassin primitif. Ces auteurs s'appuyaient sur le fait que les courbes isoanthracitiques ne correspondent pas au tracé des veines peu épaisses qu'ils estimaient s'être formées en bordure des lagunes. Cet argument géométrique ne semble pas suffisant. En effet, comme l'a montré A. Duparque en 1933, le triage mécanique des constituants des houilles à partir d'une ligne de rivage conditionne la répartition des catégories de combustibles en bandes parallèles à cette ligne. Il constate toutefois (A. Duparque, 1955) que l'amincissement progressif des couches de charbon va dans le même sens que leurs variations en matières volatiles. Pour A. Duparque, la différenciation des houilles du Nord de la France a été précoce et s'est certainement produite antérieurement à la formation des failles. Toutefois il ne nie pas, dans certains cas, les actions amaigrissantes du " *métamorphisme dynamique (pressions orogéniques)*" (A. Duparque et J. Fanshawe, 1930 et A. Duparque, 1931 et 1933, p.537). Mais, dans le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais, il a estimé qu'à petite échelle (A. Duparque, 1927d et e, 1928 et 1930; A. Duparque et S. Defretin-Lefranc, 1931) le métamorphisme dynamique " *déforme, mais ne transforme pas*".

En ce qui concerne les veines Jeanne et Emilie, nous avons vu que leur différenciation ne peut provenir de la nature du dépôt initial. La composition macérale et la valeur de l'indice de gonflement traduisent

bien l'homogénéité de ces accumulations phytogènes. De plus, l'accroissement des teneurs en matières volatiles tant vers le Nord que vers le Sud (fig. 35 et 36) atteste, dans ce cas, de phénomènes de houillification particuliers. Les phénomènes de transformation affectant en même temps et selon une continuité remarquable, tant en surface qu'en profondeur, les veines Jeanne et Emilie, relèvent nécessairement d'une action commune postérieure au dépôt. On doit admettre qu'au-delà des actions diagénétiques précoces ayant affecté isolément chaque veine pendant et peu après sa formation, des phénomènes plus tardifs et de plus grande amplitude ont contribué à transformer en bloc des faisceaux entiers de veines. La quasi-superposition des lignes isovolatiles en sont le témoignage indiscutable. De plus, la concordance entre les directions tectoniques majeures et l'allure de certaines courbes isoanthracitiques atteste des relations étroites entre ces deux phénomènes. Il apparaît donc que les axes d'effort ont joué un rôle certain (houillification synorogénique) dans l'acquisition du rang des charbons.

Cependant si les lignes isovolatiles des veines Jeanne et Emilie sont quasiment superposées, il existe entre l'allure générale de ces lignes et la position géométrique des couches une grande indépendance. Dans ces conditions, il faut admettre que ces deux couches de compositions macérales uniformes ont d'abord subi des phénomènes diagénétiques précoces homogènes comme l'attestent les valeurs des indices de gonflement. Puis on voit que l'évolution localisée de ces veines est liée à des phénomènes synorogéniques dus au dynamo-métamorphisme. Il nous rest, enfin à préciser la nature et l'âge des causes responsables des variations régionales de houillification de ces couches de charbon. Comme nous le verrons plus loin, l'étude des variations de leur pouvoir réflecteur permettra d'apporter une solution satisfaisante à ce problème très important.

3. Conclusions

Des études chimiques et macérales des veines et passées de charbon situées au voisinage immédiat du Tonstein Patrice sur toute l'étendue du bassin, des veines Jeanne et Emilie et de celles rencontrées dans le sondage Loos 5 du groupe de Lens-Liévin, l'on peut tirer les conclusions suivantes :

- En un point, la composition macérale d'une veine ainsi que ses propriétés chimiques varient peu et les caractères des dépôts sont généralement constants du mur au toit,
- les teneurs en matières volatiles et les indices de gonflement dépendent peu l'un de l'autre,
- il y a peu de relation entre les valeurs des indices de gonflement et les pourcentages des différents macéraux,
- l'indice de gonflement d'un charbon semble refléter la somme de conditions et de mécanismes physico-chimiques qui a présidé lors du dépôt et de la diagénèse précoce du combustible,
- les teneurs en matières volatiles d'un charbon dépendent du stade d'évolution atteint par ce combustible,
- les teneurs en matières volatiles d'un charbon global ne peuvent constituer un paramètre représentatif du rang,
- lorsque des charbons présentent des compositions pétrographiques identiques, les teneurs en matières volatiles des macéraux isolés peuvent alors servir à désigner le rang de ces combustibles. Cependant, la séparation des macéraux constitue une opération longue et fort délicate, et les pétrographes préfèrent utiliser d'autres paramètres, tels que la microdureté ou le pouvoir réflecteur d'un macéral, pour définir le rang d'une houille,
- les teneurs en matières volatiles sont plus conditionnées par les compositions macérales que ne le sont les indices de gonflement,
- les teneurs en matières volatiles dépendent non seulement de la nature des composants du charbon mais aussi, pour une part assez faible, des efforts tectoniques subis ultérieurement par ce dernier,
- le découpage et le style tectonique acquis ont pu, eux aussi, jouer un rôle capital dans la répartition des matières volatiles dans le gisement. La formation d'écrans lithologiques ou tectoniques empêchant la dévolatilisation ou au contraire celle de zones fissurées la favorisant peuvent

expliquer les anomalies que présente parfois la loi de Hilt. Les travaux miniers doivent aussi, pour leur part, perturber ou masquer les lois générales déjà fort difficiles à mettre en évidence.

II. LA MICRODURETE VICKERS DE LA COLLINITE

La microdureté des combustibles solides a déjà fait l'objet de plusieurs études. D.W Van Krevelen (1953 et 1961), G.Heinze (1955 et 1958), H.Honda et Y.Sanada (1956, 1957 et 1958), B.Alpern (1956c et 1959) et K.Benès (1959) notamment ont établi des courbes fournissant la microdureté de houilles en fonction de la teneur en matières volatiles, ou bien en fonction de la teneur en carbone, ou bien encore dans le cas des lignites en fonction de l'humidité de rétention.

1. Microdureté et rang

Plus récemment (Ch. Delattre et E. Mériaux, 1964) il a été confirmé à propos de charbons du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais que la microdureté est bien liée au rang. La microdureté Vickers (HV en Kg/mm²) des anthracites est la plus élevée, puis sa valeur décroît pour les maigres et les demi-gras, passe par un minimum pour les charbons gras à courte flamme, croît ensuite pour les charbons gras et les flam-bants gras et atteint un maximum pour les flam-bants secs (fig.43, p.177). Par ailleurs, en analysant des charbons prélevés en sondage, on a pu constater qu'à chaque variation de la teneur en matières volatiles avec la profondeur correspond une variation inverse de la valeur de la microdureté. Ces observations préliminaires sont confirmées par l'étude systématique des veines Jeanne et Emilie du groupe de Lens-Liévin.

Les figures 39 et 40 montrent les variations de la microdureté des houilles de ces veines en fonction de leur teneur en matières volatiles. Les chiffres correspondent au numéro des prélèvements portés sur les figures 37 et 38. Les teneurs en matières volatiles sont comprises entre 20 et 30 % et la microdureté Vickers oscille entre 29 et 38 Kg/mm². Ces résultats s'inscrivent bien sur la courbe de la figure 43 et

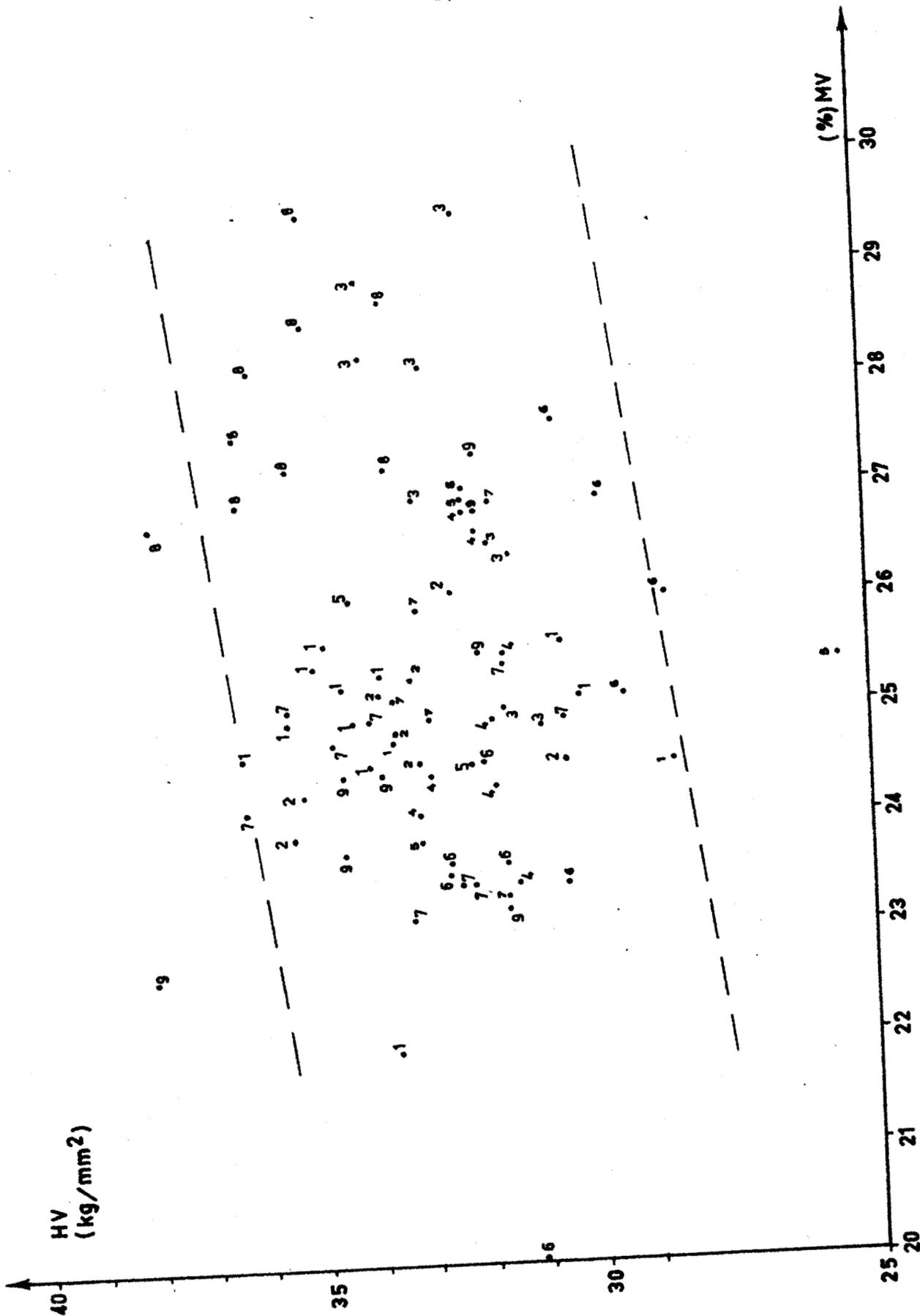


Fig. 40.— VEINE EMILIE. VARIATIONS DE LA MICRODURETÉ EN FONCTION DES TENEURS EN MATIÈRES VOLATILES.

il apparaît que, pour ces combustibles, les variations de la microdureté Vickers sont proportionnelles aux teneurs en matières volatiles.

J'ai étudié précédemment les variations des teneurs en matières volatiles des veines Emilie et Jeanne en fonction de leurs positions géographique et géométrique dans le bassin. J'ai montré que, d'une manière générale, du Nord vers le Sud au fur et à mesure de l'enfoncement de la veine, les teneurs en matières volatiles allaient d'abord en décroissant conformément à la loi de Hilt. Puis, contre toute attente, les pourcentages en matières volatiles augmentaient bien que les veines soient alors situées plus profondément. Les courbes isovolatiles sont indépendantes des courbes de niveau des veines. Il était alors intéressant d'étudier les rapports existant entre la profondeur d'enfouissement des veines et la microdureté des combustibles qui les composent. Les figures 41 et 42 montrent ces variations. En comparant les figures 39 et 40 d'une part et les figures 41 et 42 d'autre part, on note que :

- dans un premier temps, quand la profondeur à laquelle les houilles ont été prélevées augmente, les teneurs en matières volatiles et la microdureté Vickers diminuent. On parcourt la courbe de la figure 43 de la droite vers la gauche (sens 1),
- dans un deuxième temps, alors que la profondeur des prélèvements croît, les teneurs en matières volatiles et la microdureté augmentent. On parcourt la courbe de la figure 43 de la gauche vers la droite (sens 2).

Il ressort ainsi que, pour des charbons de ce type, ces deux paramètres (MV et HV) sont intimement liés et que ces rapports restent indépendants de la profondeur à laquelle ces houilles ont été portées. La composition pétrographique étant constante, il semble que le rang de ces charbons résulte en définitive des conditions originelles de dépôt et de diagénèse tout autant que de phénomènes mécaniques ultérieurs ayant affecté le bassin. Dans ce cas, la profondeur atteinte par le charbon ne semble pas déterminante dans l'acquisition de la microdureté du combustible.

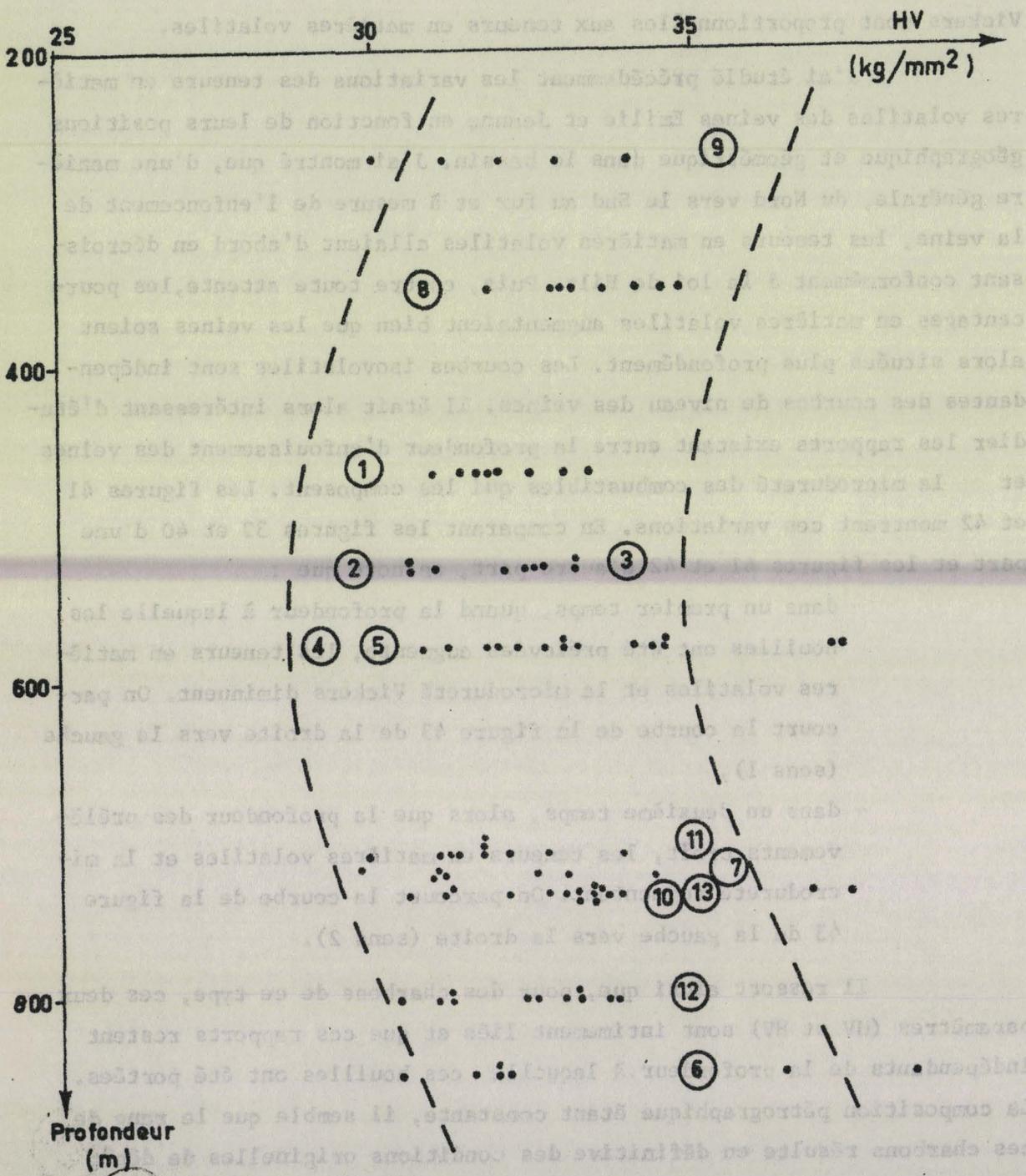


Fig. 41. — VEINE JEANNE. VARIATION DE LA MICRODURETÉ EN FONCTION DE LA PROFONDEUR

BUS
LIFE

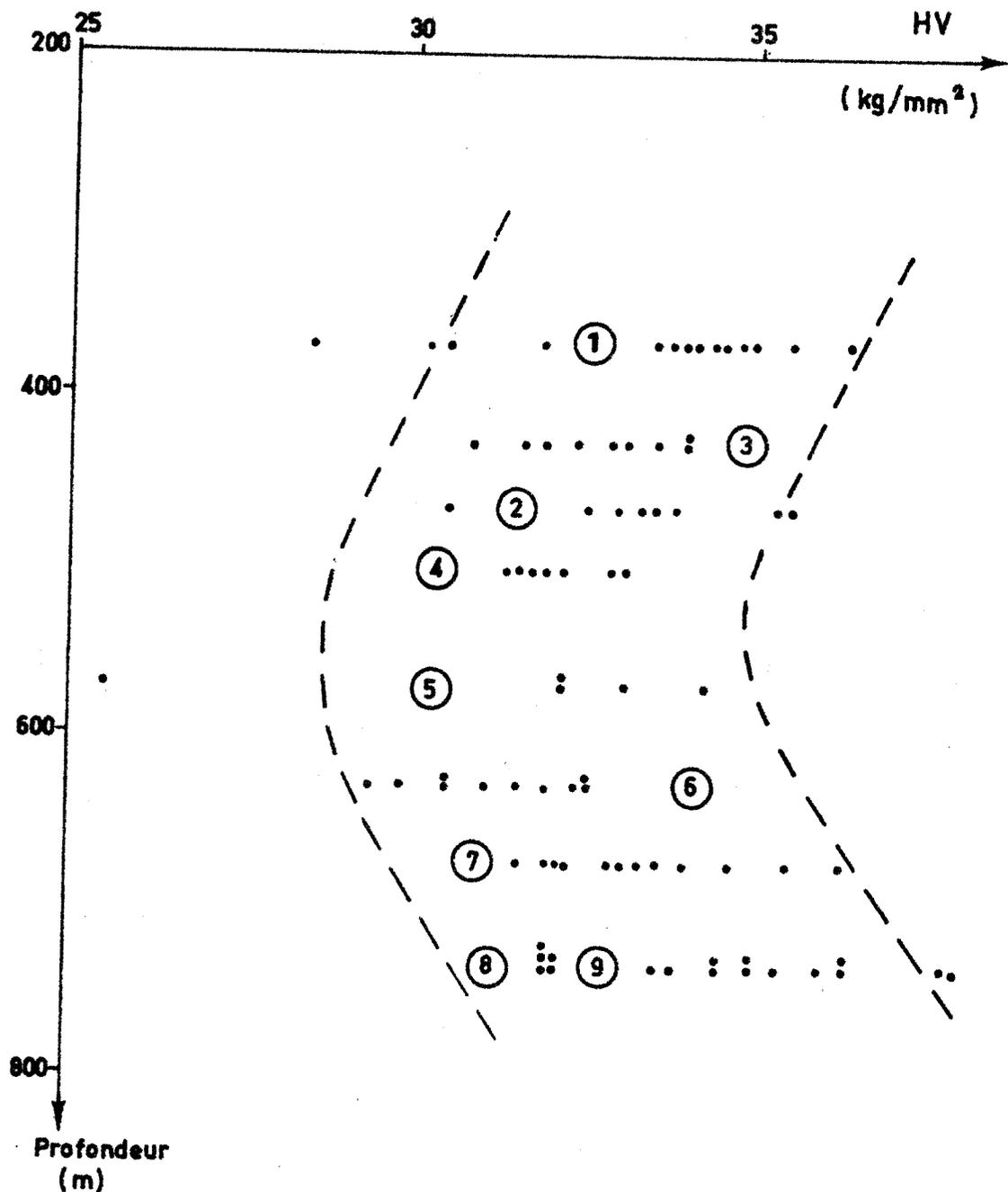


Fig. 42 . —

VEINE EMILIE. VARIATION DE LA MICRODURETÉ EN FONCTION DE LA PROFONDEUR



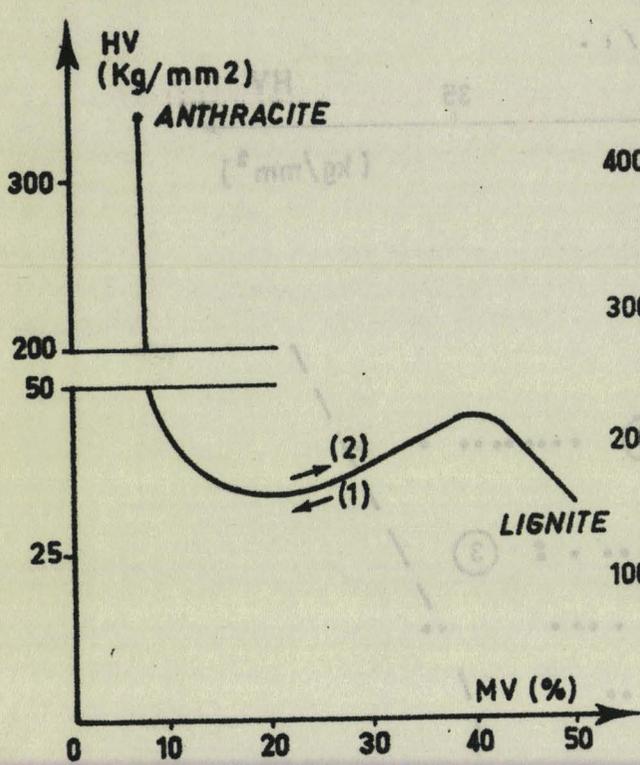


Fig. 43. MATIERES VOLATILES ET MICRODURETE.

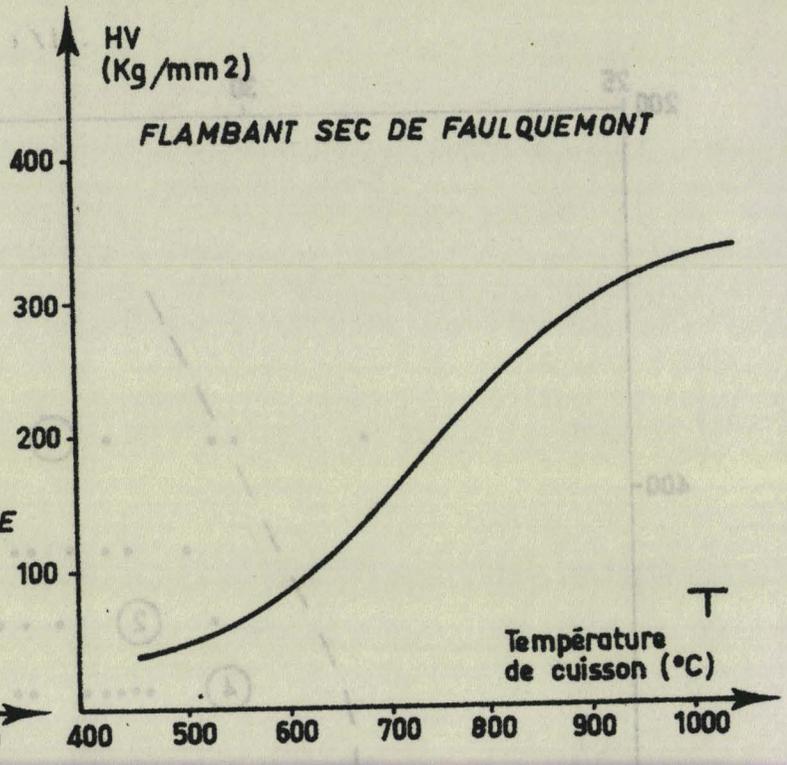


Fig. 44. TEMPERATURE ET MICRODURETE. (D'après B. Alpern)

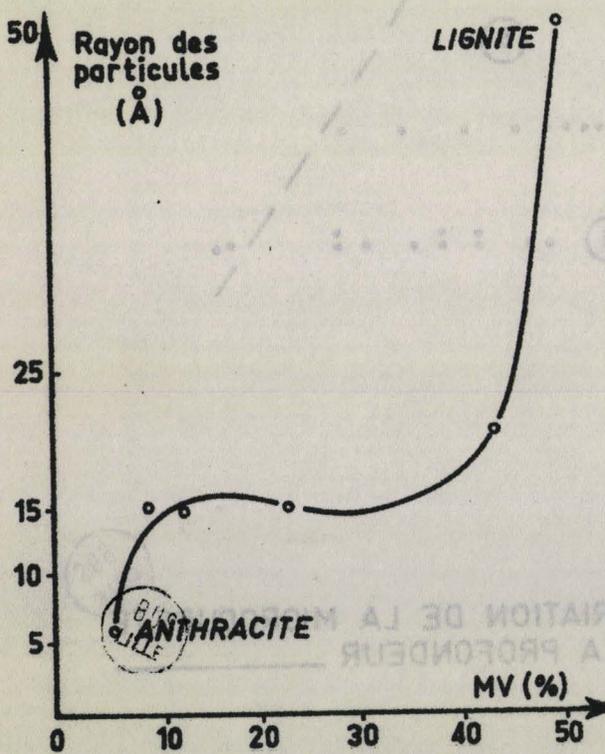


Fig. 45. MATIERES VOLATILES ET RAYON. (D'après les résultats de A. Lermusiaux)

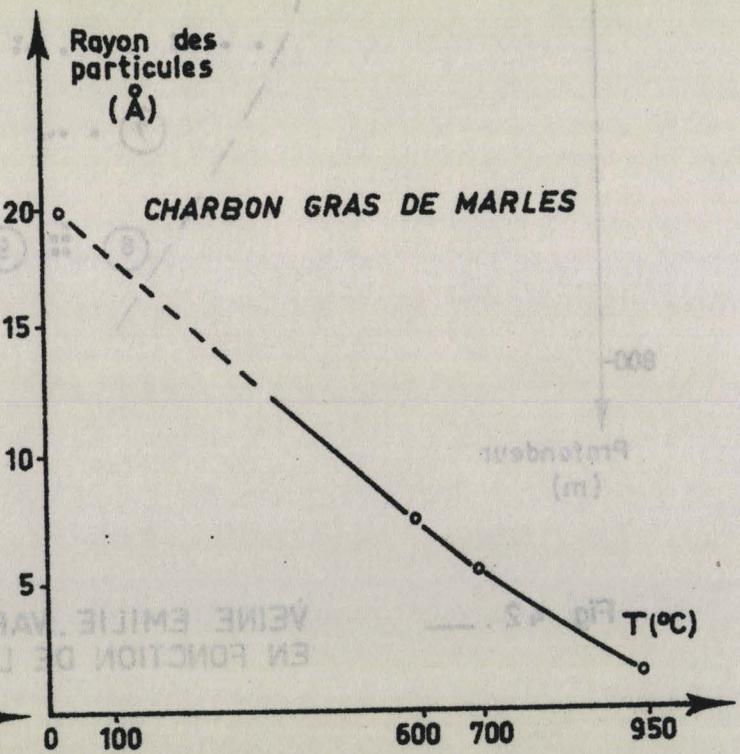


Fig. 46. TEMPERATURE ET RAYON.

2. Remarques sur les relations pouvant exister entre la microdureté et la structure d'une houille

A. - Microdureté et température de carbonisation

Etudiant un flambant sec (41 % de matières volatiles) de Faulquemont, B. Alpern (1959, p.62) a établi les rapports existant entre les variations de la microdureté et celles de la température de carbonisation. La courbe obtenue (fig.44) montre qu'au cours du chauffage, le combustible subit des transformations qui se traduisent par une augmentation sensible de sa microdureté. Ces variations seraient le reflet de modifications structurales subies par ces houilles naturellement au cours des temps géologiques ou artificiellement au laboratoire. L'examen des résultats de l'étude aux rayons X de la structure des charbons revêt alors un grand intérêt.

B. - Résultats apportés par l'étude des charbons aux Rayons X

L'examen et l'interprétation de radiogrammes Debye-Scherrer de charbons gras, trois-quart gras, demi-gras, maigre et d'anthracite a permis à A. Lermusiaux (1959) de définir la structure de ces divers combustibles à la température ordinaire et à des températures variables d'une part, et la structure des coques correspondants d'autre part. Le même procédé a encore permis de suivre "*la progression de la graphitisation des coques portés à haute température*".

A la température ordinaire, tous les charbons contiennent deux constituants : un "constituant A" (élément de base) et un "constituant B" (tabl. 14, p.177)

Le "constituant A" est "formé de particules de rayon bien déterminé pour un charbon donné" (A. Lermusiaux). Ainsi pour les charbons gras le rayon des particules du "constituant A" est de 20 angströms, de 15 angströms pour les trois-quart gras, demi-gras et les maigres et de 5.7 angströms pour l'anthracite. Le "constituant A" des lignites (H. Brusset, J. Devaux et A. Guinier, 1943, p.153) est formé de particules de "rayon de giration" (grandeur de la particule) oscillant entre 43 angströms (lignite d'Hostens) et de 61 angströms (lignite de La Serre).

Le "constituant B" est formé, lui, de particules de rayon variable (rayon moyen trois angströms).

Enfin tous les charbons contiennent des molécules en C₁₂, à rayon constant égal à trois angströms dont l'abondance augmente avec le rang des charbons.

La courbe de la figure 45 montre les variations du rayon des particules du "constituant A" avec le rang des combustibles.

A température variable, il faut admettre avec A. Lermusiaux (1959, p.55) que "le constituant A devient plus simple". Le "constituant A" d'un

température ordinaire	Constituant	Gras	3/4 gras	1/2 gras	Maigre	Antropique
	Rayon particulaire (A)					
	A	20	15	15	15	5.7
	B	3	3	3		
température variable	Températures (°C)	Comportement des constituants A et B				
	390		B fond			
	400		A → 6 Å			
	440			B fond		
	470		B volatilisé			
	500			A 6A+15 Å B volatilisé		C84 → C12
	600	A → 7.5 Å B intact		A → 6 Å		
	650		A → 3 Å			
	700	A → 6 Å B intact				4.8 Å
	800					3 Å
	950	A → 3A + 6A B diminue				

Tabl. 14. - Constitution du charbon d'après A. Lermusiaux (1959).

charbon gras a un rayon de 20 angströms à la température ordinaire. A 600° C celui-ci s'abaisse à 7.5 angströms. A 700° C il est de 6 angströms et à 950° C il n'est plus, dans la plupart des cas, que de 3 angströms. La figure 46 traduit ces variations observées par A. Lermusiaux sur un charbon gras de Marles.

C.- Essai d'interprétation des faits d'observation

Pour des combustibles de rang égal, défini par la teneur en matières volatiles, il est possible de comparer la microdureté et le rayon des particules du constituant "A" à la température ordinaire d'une part et à des températures variables d'autre part.

Ainsi, on enregistre (figures 43 et 45) qu'à la température ordinaire, selon le rang, la microdureté Vickers et le rayon des particules du combustible varient en sens inverse. A une grande microdureté correspond un rayon de particule faible (anthracite) et, à une faible microdureté correspond un rayon important de la particule (lignite). Entre ces deux points extrêmes il semble bien que les phénomènes soient moins bien tranchés.

La comparaison des graphiques des figures 44 et 46 montre nettement un phénomène semblable. A des températures variables (400 à 1000° C) la microdureté croît avec la température alors que dans le même temps le rayon des particules du "constituant A" diminue.

Quelques remarques sont toutefois nécessaires. L'étude de la microdureté des charbons fait appel à des examens microscopiques à sec (repérage de la collinite) et à des mesures de longueurs de l'ordre de 20 à 40 microns. Par contre, l'étude aux rayons X de la structure des charbons nous fournit des indications de l'ordre de quelques angströms à cinquante angströms. Il y a donc là une distorsion dans l'ordre de grandeur des mesures des paramètres.

Les études aux rayons X ont permis à A. Lermusiaux d'imaginer que le "constituant A" représenterait le vitrain du système Stopes-Heerlen. Il correspondrait donc en majeure partie à la vitrinite. Le "constituant B" équivaldrait aux constituants hétérogènes (clarain et durain). Or l'étude aux rayons X a montré que les maigres renferment peu de "constituant B" et que les anthracites n'en contiennent plus du tout. Pourtant l'étude microscopique de ces combustibles en lumière réfléchiée polarisée à immersion dans l'huile, révèle toujours des structures ligneuses. Cette contradiction n'est qu'apparente. En effet, microscopiquement la différenciation des macéraux demeure possible bien que ces constituants présentent des caractères physiques voisins de ceux de la collinite encaissante. En raison de l'effacement des contours des débris organisés dans les combustibles de rang élevé, le "constituant B" ne peut plus être mis en évidence.

Comme nous venons de le voir, la microdureté des houilles est liée à la taille des particules constitutives des combustibles. Toutefois l'agencement de ces particules doit, lui aussi, influencer ce paramètre.

Dès 1929 et 1930 C. Mahadevan a démontré que les charbons contiennent des composés ayant une structure hexagonale similaire à celle du graphite. La taille des particules diffractant les rayons X oscille entre dix et quarante angströms. H. Brusset, J. Devaux et A. Guinier (1943) ont étudié les charbons par la diffusion des rayons X sous très petits angles.

Plus près de nous, H.E. Blayden, J. Gibson, et H.L. Riley (1944) ont défini une structure désordonnée en ordre. Le charbon serait composé de petites unités à peu de plans réticulaires parallèles constitués d'hexagone d'atomes de carbone. Dans les charbons de bas rang, peu de ces petits paquets seraient orientés tandis que, dans les houilles de rang élevé, des cristallites de plus en plus nombreux s'aligneraient jusqu'à ce que le terme ultime de la série (graphite) présente un ordre "parfait". Ces auteurs ont employé le terme "turbostratic" - emprunté à J. Biscoe et B.E. Warren (1942) - pour qualifier cette forme d'organisation particulaire.

H. Brusset (1948, p.82 et 1949) propose la structure suivante : la gelée de base (substance fondamentale de A. Duparque) est formée de micelles de 40 à 200 angströms de diamètre. La micelle élémentaire est constituée par la réunion de pseudo-cristallites (30 à 100 angströms). Les molécules d'acides humides empilées en cristallites possèdent un arrangement hexagonal très irrégulier.

R. Siever (1951 et 1952) indique une tendance définitive (definitive trend) à l'augmentation de la taille des cristallites selon l'accroissement du rang des charbons. La taille des cristallites croît de 30-40 Å pour les houilles grasses (medium-volatile coals) à plus de 100 Å pour les anthracites et les "méta-anthracites". Notons que, dès 1937, il avait été montré grâce à l'étude de diagrammes X que "l'extension et la régularité du carrelage hexagonal augmentent quand on passe des anthracites vrais aux peranthracites" (P. Corriez, 1937, p. 40).

Si, comme nous venons de le voir, l'arrangement de plus en plus régulier des particules selon le rang croissant des charbons est parallèle aux variations de la microdureté, il est possible aussi qu'un phénomène homologue se produise au niveau des micelles.

D.H. Bangham et N. Berkowitz (1947), étudiant les propriétés mécaniques des charbons, ont précisé la nature micellaire de ces combustibles. La force de compression minimale nécessaire à la production d'une déformation est proportionnelle à la teneur en carbone, dans le domaine des *charbons bitumineux* et croît ensuite plus vite dans le domaine des charbons évolués. Cette force est sensible aux variations de température. Le charbon serait constitué par des micelles sphériques dont le diamètre diminuerait dans le domaine des charbons à rang élevé. Le degré d'évolution augmentant, il se produirait "une déformation de la micelle qui s'écrase alors contre ses voisines".

Que ce soit au niveau des molécules (constituant A) des cristallites ou des micelles, l'examen des résultats obtenus semble bien

montrer que la taille des particules du constituant A, leur arrangement en cristallites - dont la taille augmente et dont la structure évolue avec le rang des charbons - , l'existence de forces de cohésion unissant les micelles d'une part et la microdurité des charbons d'autre part, ne sont pas indépendants. En dernière analyse, citons le cas des anthracites. "L'anthracite serait formé de molécules en C 84 de rayon 5.7 Å, constituées par deux nappes carbonées espacées par une distance de 3.4 Å. Ces molécules forment un empilement compact" (A. Lermustiaux, 1959, p. 46). La taille des cristallites constituées par ces molécules empilées de manière compacte dépasserait 100 Å (R. Stever, 1952). De plus, L. Capdecorme (1943 a et b et 1944, p. 286) a mis en évidence dans les anthracites, grâce à l'emploi de la lumière polarisée, la présence de graphite en petits cristaux et en éléments submicroscopiques. Tout porte donc à croire que cet arrangement graphitoïde et ces germes localisés de graphite sont responsables de la microdurité particulièrement élevée de ces combustibles. Signalons enfin que récemment, P.B. Hirsch (1954), R.E. Franclin (1950 a et b, 1951 a et b), S. Pragermain (1957) et R. Diamond (1958 et 1960) ont précisé les détails de la structure du charbon et des processus de sa carbonisation.

En définitive, l'étude de la microdurité des houilles permettrait d'apporter un certain nombre de renseignements relatifs à la structure des combustibles solides. Toutefois ces mesures ne s'appliquent aisément qu'à un nombre restreint de types de charbons. B. Alpern (1959) a exposé les difficultés rencontrées pour mesurer ce paramètre sur des anthracites, et les moyens d'y remédier. Par ailleurs, G. Toubeau (1962 a) a montré que la mesure systématique de la microdurité Vickers des minéraux opaques présente un grand intérêt en minéralogie.

Pour tenter de préciser la valeur de la microdurité selon certaines directions privilégiées (par rapport à la stratification ou aux axes d'effort tectonique par exemple) j'ai procédé à des essais de rayures sur de grandes plages de collinite. J'ai effectué grâce à des diamants spéciaux pour rayure, soit coniques, soit anguleux, des stries rayonnantes régulièrement disposées autour d'un point pris au hasard. Malheureusement le charbon ne se prête pas facilement à ce genre d'analyse. En effet, les rayures présentent presque toujours des bords à cassures conchoidales interdisant toute mesure de leur largeur. Il faut néanmoins retenir cette technique appliquée avec bonheur par G. Toubeau aux minéraux opaques. L'application d'une substance plastique à la surface des échantillons

devrait permettre de mener à bien de telles recherches et la confrontation avec d'autres méthodes d'études ne peut être que bénéfique pour la connaissance des houilles.

3. Conclusions

Les constatations précédentes permettent de préciser les faits suivants :

- la microdureté d'un combustible n'est pas en relation directe avec sa teneur en matières volatiles globale . Des charbons ayant des teneurs en matières volatiles fort différentes peuvent présenter la même microdureté Vickers,
- dans le cas de houilles à compositions macérales semblables, il apparaît que les teneurs en matières volatiles globales et les microduretés correspondantes de la vitrinite sont intimement liées. Ces deux paramètres doivent relever des mêmes processus,
- la microdureté doit être en relation avec l'architecture des composants.

III - LE POUVOIR REFLECTEUR DE LA COLLINITE

Avant d'exposer les principaux résultats obtenus à partir de la mesure systématique du pouvoir réflecteur des houilles du bassin du Nord et du Pas-de-Calais, je rappellerai très brièvement quelques généralités relatives à ce paramètre particulier.

1. Généralités

Le lexique international de pétrographie des charbons (C.I.P. C., 1963), précise les diverses méthodes de détermination du "rang". Un tableau repris de K. Patteisky et M. Teichmüller (1960) indique les limites d'utilisation du paramètre "pouvoir réflecteur de la vitrinite" pour préciser le rang d'un charbon. Le pouvoir réflecteur recouvre tout le domaine des houilles et une partie de celui des lignites durs. Par ailleurs, la valeur du pouvoir réflecteur était considérée dès 1952 par I.I. Ammosov et S.A. Musyal et en 1957 par V. Holubar et Z. Krejcik, comme l'un des caractères spécifiques des différents types de charbons fossiles.

C'est à J. Orcel (1927, 1928 et 1930) que nous devons la mise au point d'une méthode de mesure du pouvoir réflecteur entièrement objective. Cet auteur préconise en effet, pour étudier le pouvoir réflecteur des minéraux opaques et des minéraux transparents très réfringents, l'emploi de la "pile photo-électrique".

Le microphotomètre de M. Berek (1930 et 1931) dont les "moyens d'éviter les fautes de réglage" furent décrits par E. Stach (1949, p. 161) ne permet, lui, que de réaliser des mesures malheureusement fort subjectives (D. G. Murchison, 1960). Pour mémoire, il convient de citer aussi les méthodes de Y.A. Zhemchuzhnikov (1936) et de A. Dahme et M.Th. Mackowsky (1950). Ces dispositifs fondamentaux, utilisant un microscope par réflexion, ont subi des perfectionnements considérables. Tout d'abord, l'appareil photographique a remplacé l'oeil de l'observateur (F.J. Huntjens et D.W. Van Krevelen, 1954) lors de l'égalisation des plages lumineuses dans la manipulation du photomètre de Berek. Puis, certains aménagements techniques ont permis de mieux apprécier la valeur du pouvoir réflecteur. Ainsi, en utilisant des films et des papiers à tirage à fort contraste, on a pu renforcer les tons gris à comparer. En 1955, d'après les données de E. Stach, la firme E. Leitz a construit un microscope qui a permis de réaliser des mesures très précises du pouvoir réflecteur de l'exinite de couches de charbon de la Ruhr (E. Stach et H.C. Michels, 1955). Pour faire face aux difficultés de manipulation, E. Stach (1956b) a encore amélioré l'appareillage. Il a préconisé l'adjonction de bonnettes d'immersion (E. Stach, 1957, et 1958a) permettant d'utiliser des liquides d'indices de réfraction élevés (Iodure de méthylène) augmentant les contrastes et du même coup l'étalement des tons gris. En 1958, E. Stach (1958b) a proposé l'utilisation d'un "coin gris" permettant de repérer, de façon continue, les valeurs du pouvoir réflecteur des combustibles solides, mais non d'en faire des mesures absolues. Ce "coin gris" peut s'adapter sur un microscope de comparaison ou sur un microphotomètre. L'objectivité des mesures relatives du pouvoir réflecteur, par de tels procédés, reste liée à la prise de microphotographies. La comparaison et l'égalisation des plages lumineuses (demi-plage

correspondant au faisceau réfléchi par l'objet et demi-plage image du faisceau de comparaison) ont été grandement simplifiées grâce à la mise au point par B.Alpern et G. Nomarski d'un réflectomètre optique, à une seule cellule, muni d'un "dispositif de papillotement" (B.Alpern, 1959).

Enfin, c'est le montage d'un microscope équipé d'un photomultiplicateur et d'un supergalvanomètre (K. Kötter, 1960) et l'automatisme des manipulations et de l'enregistrement (K. Kötter et D.W.Langner, 1961 et W. Pickhardt et K.Robock, 1965) qui ont constitué, semble-t-il, un très grand pas vers la justesse et la rapidité des mesures objectives et absolues du pouvoir réflecteur des charbons. Il faut cependant encore signaler la construction par J.M.Jones (1962) d'un nouveau microréflectomètre muni d'un polariseur tournant à 3000t/mn à très haute sensibilité, spécialement pour les intensités lumineuses faibles.

On comprend aisément que des dispositifs aussi divers aient fourni des résultats parfois contradictoires. Ainsi, à l'origine il fut constaté des variations discontinues (théories des "steps" de C.A. Seyler) du pouvoir réflecteur des charbons (J.M.Schopf, 1948, fig.I, p.212). Actuellement, il semble bien que les résultats obtenus incitent à opter pour des variations continues de cette propriété physique particulière des macéraux des houilles avec le rang de ces dernières. Dans des conditions d'expérimentation si variées, il était bien difficile d'obtenir des mesures homogènes. Cela se vérifie d'autant mieux qu'un facteur subjectif non négligeable vient s'ajouter à des conditions d'observation parfois peu commodes.

Quoiqu'il en soit, les études du pouvoir réflecteur des houilles sont très nombreuses. Les premiers travaux (E.Hoffmann et A.Jenkner, 1932 et 1933 ; C.A. Seyler 1943a ; C.A. Seyler et W.J.Edwards, 1949) ont eu pour objet l'étude des phénomènes de houillification et les définitions des composants du charbon (C.A.Seyler, 1943b). Il fut aussi recherché des relations entre le pouvoir réflecteur et les propriétés physiques des houilles telles que la densité calculée et la porosité (E.Sherlock, 1951a), l'anisotropie (M.Th.Mackowsky et A.Dahme, 1951 ; E.Wege, 1954) ou les

indices de réfraction et d'absorption (F.J.Huntjens et D.W.Van Krevelen, 1954). L'importance pratique que revêt la mesure systématique du pouvoir réflecteur n'est plus à démontrer (G.W.Fenton, I.A.Marshall et A.H.V.Smith, 1958 ; E.Grand'ry, 1962 ; M.Th. Mackowsky, 1962 ; E.Stach, 1968). D'innombrables mesures, relatives ou absolues, du pouvoir réflecteur ont été réalisées. Les résultats qu'elles ont apportés ont entraîné des discussions, sources de progrès. Citons les travaux de E.Sherlock (1951b), B.C.Mukherjee (1952), C.A.Seyler (1952), J.T.Mc Cartney (1952), J.T. Mc Cartney et L. J.E. Hofer (1955), S.R.Broadbent et A.J.Shaw (1955), C.A.Seyler et D.Chandra (1955), D.Chandra et R.L. Bond (1956), D.W.Van Krevelen et J.Schuyer (1957)⁽¹⁾, G. Murchison (1957 et 1958), J.T.Mc Cartney et S.Ergun (1958 et 1960), D.Chandra (1958), B.Alpern (1959), L.A. Gilbert (1960), D.G.Murchison et E.H.Boult (1961), J.M. Jones (1961), B.Alpern et R.H.Busso (1963), B.Alpern (1964), E.Mériaux (1964b), W.Pickhardt et K.Robock (1965) D.Chandra (1965a), R.Noël (1966), B.Alpern (1967a), R.Noël (1967, in P.L.Coppens 1967) et B.Alpern (1969). Signalons enfin que le lexique international de pétrographie des charbons (C.I.P.C., 1963) montre à la fiche "rang" (fig.4) les relations entre les pouvoirs réflecteurs maximaux et minimaux (à immersion dans l'huile) de la vitrinite et sa teneur en carbone.

2) Les résultats des mesures photométriques

J'ai représenté (fig.7) et donné les caractéristiques principales de l'ensemble photométrique dont j'ai disposé. Je rappelle que cet appareil est semblable à celui utilisé par W.Pickhardt et K.Robock (1965) et dont R.Noël (1967, in P.L. Coppens, p.143) a récemment rappelé le principe.

J'ai la plupart du temps opéré sur des sections de blocs taillés perpendiculairement à la stratification. Cependant, les houilles écailleuses, du type de celles prélevées à la fosse 8 de l'Escarpelle du groupe de Douai, se prêtent difficilement à ce mode d'étude. Dans ce cas, j'ai procédé à leur broyage et à leur enrobage et j'ai mesuré le pouvoir réflecteur de la collinite sur des sections en grains. Sur chaque échantillon en blocs ou en grains, j'ai mesuré le pouvoir réflecteur de 100 plages de collinite. Chacune des plages a été choisie au hasard sur les échantillons en blocs ^{ou} correspond à l'une des multiples sections de grains uniformément répartis sur la surface polie.

(1) R.Siever (1957)

Les échantillons des veines voisines du Tonstein Patrice et ceux des veines Jeanne et Emilie du groupe de Lens-Liévin se sont révélées isotropes. Par contre, les combustibles rencontrés dans le sondage Loos 5 sont anisotropes. Dans le premier cas, le pouvoir réflecteur moyen mesuré correspond au pouvoir réflecteur usuel (PRU de R.Noël, 1967 in P.L.Coppens, 1967). Dans le second cas (Loos 5) j'ai recherché, pour chaque mesure, la valeur du pouvoir réflecteur maximal (PRM de R.Noël, op.cité) en tournant la platine du microscope. Entre chaque série de 25 mesures, j'ai procédé à une vérification du zéro de l'enregistreur automatique et à un contrôle de l'échelle adoptée par une mesure sur l'étalon utilisé (saphir blanc synthétique). Lorsque des variations apparaissent pendant les opérations de mesures on procède aux corrections nécessaires et on recommence la dernière série de 25 mesures.

J'étudierai successivement les variations des valeurs du pouvoir réflecteur (PRU et PRM) :

- dans un même échantillon,
- dans l'épaisseur des veines et passées,
- en fonction de la composition macérale,
- enfin, je définirai les rapports entre le pouvoir réflecteur des houilles et leur teneur en matières volatiles, leur microdureté Vickers et la profondeur à laquelle ces charbons ont été prélevés.

A. Variations des valeurs du pouvoir réflecteur dans les échantillons

1 - Aspect graphique des réflectogrammes

Les mesures du pouvoir réflecteur n'ayant ici pour but que de déceler les causes du processus de houillification, il ne m'est pas apparu utile de figurer dans le détail les nombreux réflectogrammes que j'ai été amené à établir.

Pour les charbons isotropes, les graphiques établis avec un intervalle de réflexion égal à 0.05 %, montrent généralement quatre piliers répartis selon une courbe de Gauss unimodale. En revanche, pour les charbons anisotropes, le nombre de piliers augmente avec l'anisotropie à tel point que l'on est conduit à ramener pour ces houilles l'intervalle de réflexion de 0.05 % à 0.1 %.

2) Relations entre le PRU et le PRM calculés et déterminés graphiquement

Les premiers résultats étant acquis, j'ai recherché pour les charbons anisotropes du sondage Loos 5, des rapports entre le pouvoir réflecteur usuel et le pouvoir réflecteur maximal. J'ai donc procédé à la mesure du pouvoir réflecteur usuel sans rechercher la position de réflexion maximale. La construction des réflectogrammes a montré que, pour ces combustibles, les réflectogrammes correspondant au PRU présentent généralement une allure plurimodale et une grande dispersion des valeurs alors que ceux correspondant au PRM sont d'allure unimodale avec une courbe de Gauss anguleuse. J'ai d'abord calculé - pour le PRU et le PRM - la valeur moyenne des cent mesures effectuées sur chaque échantillon ^{selon} une méthode statistique dont j'ai récemment rappelé le principe (E. Mériaux, 1964b). Puis, graphiquement, j'ai repéré sur les réflectogrammes - PRU et PRM - l'abscisse du mode. Celle-ci est, bien entendu, toujours plus grande en ce qui concerne le PRM que pour le PRU.

En définitive, pour un même échantillon qu'elle soit calculée ou repérée graphiquement, la valeur du PRM est toujours supérieure à celle du PRU. Mais, ce qui est important à envisager, c'est la différence entre la valeur graphique et la valeur calculée tant pour le PRU que pour le PRM. En général, dans les deux cas, cette différence reste du même ordre de grandeur et comprise entre 0.02 et 0.03 %.

3) La dispersion des résultats

La détermination du pouvoir réflecteur d'un échantillon de combustible se traduit toujours par une certaine dispersion des résultats. Graphiquement, cela se matérialise par un étalement plus ou moins grand du réflectogramme. On a une meilleure idée de l'amplitude de cette dispersion en calculant pour chaque série de mesures l'écart-type (σ) et le coefficient de variation (% σ).

En ce qui concerne les charbons prélevés au voisinage du Tonstein Patrice, les valeurs du pouvoir ^{réflecteur} varient de 0.746 % (Groupe d'Auchel-Bruay, veine Amélie, échantillon 17, fig. IIIb) à 1.841 % (Groupe de Douai, veine Louise, échantillon du toit = 1500/1 fig. IIIt). La valeur de l'écart-type varie, elle, de 0.041 à 0.053 et celle du coefficient de variation de 5.4 à 2.8.

Dans le groupe de Lens-Liévin, les veines Jeanne et Emilie présentent des valeurs du pouvoir réflecteur de la collinite comprises entre 1.205 % (Veine Emilie, prélèvement 4, échantillon 4, fig. VIId) et 1.845 % (Veine Jeanne, prélèvement 7, échantillon 3, fig. IXg). L'écart-type oscille, quant à lui, entre 0.043 et 0.054 tandis que la valeur du coefficient de variation varie de 3.6 à 2.9.

Pour ce qui est des houilles rencontrées dans le sondage Loos 5 où les combustibles ont des teneurs en matières volatiles variant de 12 à 26 % (cf. fig.X du tome annexe) j'ai montré (E.Mériaux, 1964, p.24) que pour cette gamme de combustibles la valeur de l'écart-type croît régulièrement quand le pouvoir réflecteur maximal augmente et atteint la valeur 0.0943 pour les plus maigres d'entre eux. La dispersion, exprimée par le coefficient de variation ($\% \sigma$), a tendance à augmenter quand le pouvoir réflecteur maximal croît. Cependant, il faut constater qu'il ne s'agit là que d'une tendance car l'échantillon 14 (fig.X), de PRM égal à 1.618 %, possède un coefficient de variation égal à 3.935 alors que l'échantillon 2 de PRM égal à 2.128 % présente, lui, un coefficient de variation égal à 3.200. Toutefois, d'une manière générale, on passe d'un coefficient de variation de 2.970 correspondant à un PRM égal à 1,399 % (échantillon 17) à un coefficient de variations de 4.410 pour un PRM de 2.134 % (échantillon 1).

La gamme de charbons étudiés n'est cependant pas assez étendue pour pouvoir dresser des courbes précises rassemblant ces différents résultats. C'est pourquoi, pour conclure, je me contenterai de signaler que dans le cas des combustibles envisagés, lorsque le rang augmente, c'est-à-dire quand le pouvoir réflecteur croît, les écarts-types croissent régulièrement et les coefficients de dispersion ont tendance, eux aussi, à augmenter.

B - Variations des valeurs du pouvoir réflecteur dans l'épaisseur des veines et passées.

Jusqu'ici mon étude a porté sur les variations du pouvoir réflecteur, des écarts-types et des coefficients de variation en définissant

ainsi leurs limites et leurs relations pour l'ensemble des échantillons. Je m'attacherai maintenant à l'étude des variations du pouvoir réflecteur dans l'épaisseur des veines et des passées. On trouve sur les figures IIIa à IIIv, VIa et VIj et IXa à IXn la représentation des variations verticales du pouvoir réflecteur, respectivement dans les veines voisines du Tonsstein Patrice et dans les veines Emilie et Jeanne du groupe de Lens-Liévin. D'une manière générale, on constate que, dans une veine donnée, les valeurs du pouvoir réflecteur accusent peu de fluctuations. J'ai dressé, ci-dessous, pour les veines les plus épaisses ayant nécessité un découpage vertical en de nombreux échantillons (exemple : Amélie, prélèvement 1, 17 horizons) la liste des valeurs maximales et minimales observées dans chacune d'elles ainsi que l'écart enregistré entre ces deux valeurs.

<u>Principales veines</u>	<u>Pouvoir réflecteur</u>		<u>Ecart enregistré</u>
	valeur maximale	valeur minimale	

= LES VEINES VOISINES DU TONSTEIN PATRICE.

- GROUPE D'AUCHEL-BRUAY

Prélèvement 1 (Vieux 2 de Marles)

Rufine	0.975	0.840	0.135
Amélie	1.057	0.800	0.257
Rosalie	0.953	0.840	0.113

Prélèvement 5 (4 de Bruay)

16è veine	1.056	0.901	0.155
17è veine	1.043	0.945	0.098
17 bis	1.025	0.918	0.107

- GROUPE DE BETHUNE-NOEUX

Prélèvement 8 (13 de Noeux)

Bienvenue	1.758	1.569	0.189
St Benoît	1.547	1.442	0.105

Prélèvement 9 (5 de Béthune)

Marcellin	1.292	1.201	0.091
Marcelline	1.310	1.228	0.082

- GROUPE DE LENS-LIEVIN

Prélèvement 11 (13 de Lens)

Cinq -Sillons	2.285	I.993	0.292
---------------	-------	-------	-------

Prélèvement 13 (2 de Lens)

Hyacinthe inférieure	I.467	I.308	0.159
P2	I.464	I.346	0.118
P4	I.600	I.440	0.160
PI	I.489	I.325	0.164

- GROUPE D'HENIN-LIETARD

Prélèvement 14 (2I Nord)

Lazare (44I)	I.650	I.608	0.042
"Berthe" (400)	I.725	I.581	0.144

Prélèvement 16 (2 Est)

Berthe (730)	I.732	I.648	0.074
7I9	I.728	I.648	0.080

- GROUPE DE DOUAI (Fosse 8 de l'Escarpelle)

Prélèvement 17

1ère veine (I587)	I.682	I.591	0.091
Louise (1500)	I.841	I.645	0.196

- GROUPE DE VALENCIENNES (Fosse Cuvinot)

Prélèvement 18 (5è Série)

20è veine	I.601	I.425	0.176
I9è veine	I.590	I.482	0.108

Prélèvement 19 (3è Série)

20è veine	I.780	I.530	0.250
I9è veine	I.617	I.516	0.101

= LES VEINES JEANNE ET EMILIE DU GROUPE DE LENS-LIEVIN

Veine Jeanne

J1 (prélèvement 1)	I.585	I.390	0.195
J2	I.695	I.625	0.070
J3	I.705	I.535	0.170
J4	I.810	I.520	0.290

J5	I.645	I.545	0.100
J6	I.785	I.630	0.155
J7	I.845	I.610	0.235
J8	I.680	I.440	0.240
J9	I.700	I.535	0.165
J10	I.555	I.410	0.145
J11	I.595	I.385	0.210
J12	I.450	I.295	0.155
J13 (prélèvement 13)	I.375	I.225	0.150

VEINE EMILIE

E1 (prélèvement 1)	I.455	I.220	0.235
E2	I.470	I.290	0.180
E3	I.480	I.227	0.253
E4	I.580	I.205	0.375
E5	I.678	I.362	0.316
E6	I.585	I.365	0.220
E7	I.632	I.370	0.262
E8	I.385	I.225	0.160
E9 (prélèvement 9)	I.557	I.300	0.257

Cette énumération de quelques uns des résultats obtenus montre que des veines superposées en un lieu donné présentent des pouvoirs réflecteurs très voisins. Les valeurs maximales et minimales atteintes dans chaque veine restent du même ordre de grandeur quand on passe d'une veine à l'autre sur une verticale. On observera pour s'en convaincre le prélèvement 13 du 2 de Lens par exemple. En revanche, des échantillonnages d'un même niveau (Jeanne ou Emilie) répartis sur une grande surface présentent des fluctuations importantes. Je citerai les points J 7 et J 13 ou les points E8 et E5, des veines Jeanne et Emilie. Cela montre que sur une verticale les veines ont ici subi des phénomènes de houillification du même ordre de grandeur. Ces processus de carbonification ont, par ailleurs, pu changer latéralement et affecter à des degrés divers les veines Jeanne ou Emilie qui présentent pourtant, comme je l'ai montré précédemment, des compositions macérales similaires.

P O U V O I R R E F L E C T E U R			
	Veines voisines de Patrice	Jeanne et Emilie	Tous les char- bons étudiés
Collinite	+II.8 *	-4.2	+4.8 *
Télinite	-II.I*		-6.6*
Sporinite	-34.3*		-25.3*
Cutinite	-27*	-3.3	-26.7*
Résinite	-29.5*		-28.3*
Micrinite fine		+4.5	
Micrinite massive	-16.4*		-6.2*
Sclérotinite	-I.4		-I
Semifusinite		+4.I	
Fusinite	+9*		+4.5*
Vitrinite	+12.3*	-3.6	+4.7*
Exinite	-4I.9*		-3I.9*
Inertinite		+5.3	
Cendres	+3		+I.I
Indice de gonflement	+12.9*		+II.9*
Matières volatiles	-68.7*	-18.8*	-63.6*

Tabl. 15. -- Valeurs (%) des corrélations entre le pouvoir réflecteur et les macéraux, groupes de macéraux, minéraux et caractères chimiques des houilles (* Probabilité et crédibilité fortes).

Enfin, on constate que les écarts de pouvoir réflecteur dans l'épaisseur des veines sont toujours beaucoup plus élevés que la dispersion des mesures. Ainsi, les légères variations du pouvoir réflecteur enregistrées dans l'épaisseur des veines se produisent sans localisation précise. En examinant les veines séparément, il est apparu que la répartition des horizons ayant des pouvoirs réflecteurs maximaux (ou minimaux) se faisait apparemment au hasard ou ne semblait pas liée à un point précis de la veine (mur ou toit par exemple).

Ainsi nous avons vu que le processus général de houillification affecte plusieurs veines à la fois d'une part et que d'autre part, dans une veine, les légères variations des valeurs du pouvoir réflecteur ne peuvent être dues ni aux effets de la dispersion des mesures ni à une évolution préférentielle localisée, force nous est de rechercher dans la composition macérale de la veine elle-même les causes de ces fluctuations.

C- Pouvoir réflecteur et composition macérale

Seules des variations dans la composition des dépôts peuvent expliquer la distribution verticale des valeurs du pouvoir réflecteur dans les veines étudiées.

L'étude sur ordinateur, au Laboratoire de Calcul de la Faculté des Sciences de Lille, a permis d'établir les valeurs des corrélations entre le pouvoir réflecteur et les teneurs en macéraux et en groupes de macéraux. Le tableau 15 montre les résultats de cette étude. Il comprend en outre les corrélations entre le pouvoir réflecteur et les valeurs des indices de gonflement et les matières volatiles des houilles.

Il apparaît clairement que la présence de matériel bitumineux dans un combustible lui confère un pouvoir réflecteur peu élevé. Près de 32 % des variations des valeurs du pouvoir réflecteur sont influencées par l'exinite ; la sporinite, la cutinite et la résinite, ayant en cela des importances similaires (cf. tabl.15). Les deux macéraux du groupe de la vitrinite ont des rôles opposés. Le pouvoir réflecteur et les teneurs en collinite sont faiblement mais directement "corrélées" (4.8 %). En revanche, l'influence jouée par la télinite sur le pouvoir réflecteur s'apparente à

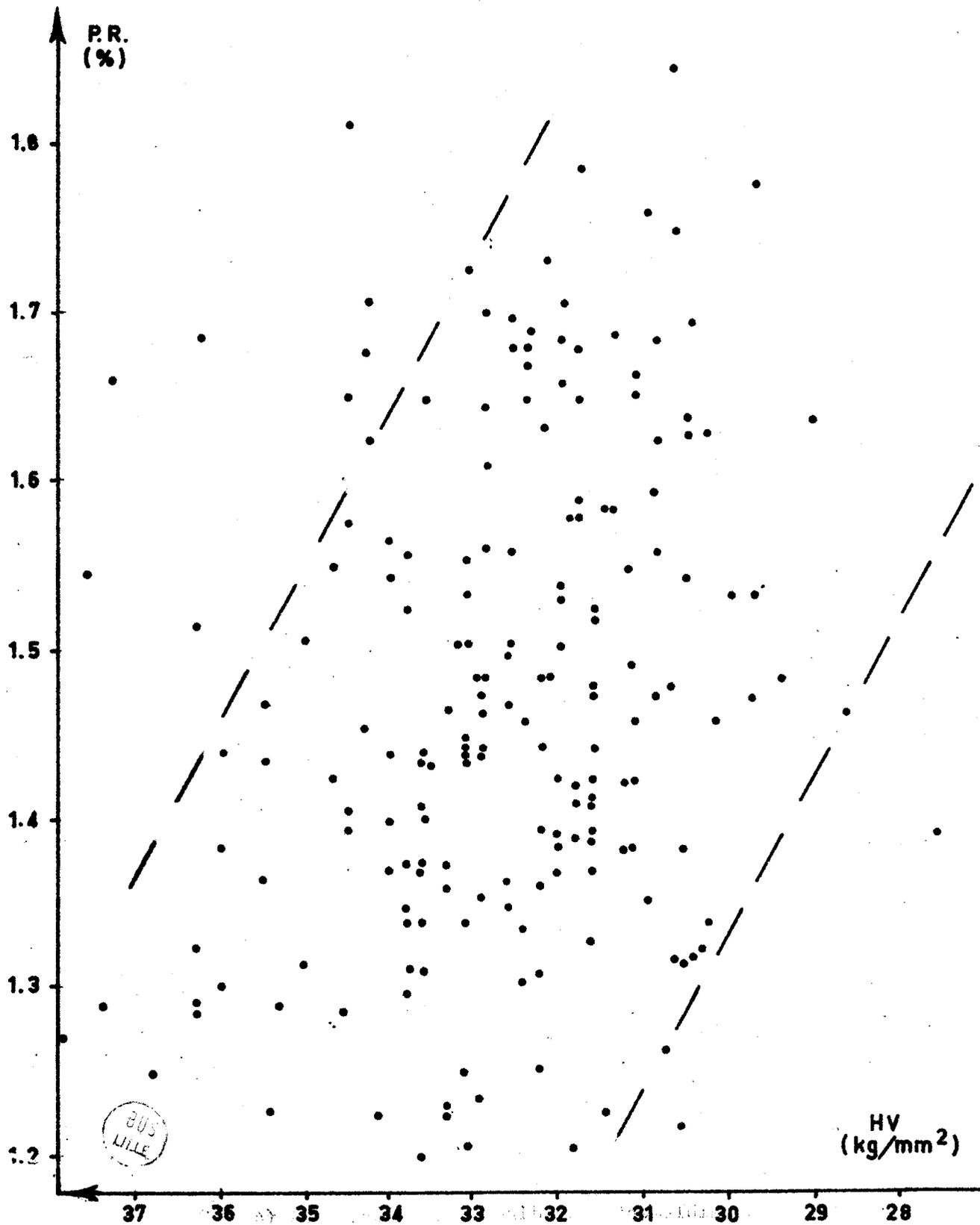


Fig. 47. — VEINES JEANNE ET EMILIE. MICRODURETE ET POUVOIR REFLECTEUR.

celle de la micrinite massive et dans une moindre mesure à celle de la sclérotinite. Enfin, 4.5 % des variations du pouvoir réflecteur sont influencées par la présence de fusinite.

D - Pouvoir réflecteur et teneurs en matières volatiles

Les mesures du pouvoir réflecteur sont effectuées sur des plages de collinite. En revanche, la recherche des teneurs en matières volatiles relève de l'analyse de charbons globaux. En dépit de cette différence des matériels étudiés, des relations entre ces deux paramètres ont pu être établies. J'ai signalé précédemment que, dans les houilles de bas rang, les teneurs en matières volatiles dépendaient pour une grande part de leur composition macérale (cf. tabl.12). Par ailleurs, le tableau 15 montre, comme nous venons de le voir, que les variations des compositions macérales des charbons peu houillifiés influencent celles des valeurs du pouvoir réflecteur. Ainsi, il apparaît logique que les matières volatiles et le pouvoir réflecteur de houilles de ce type soient parfaitement "corrélées" (- 68.7 %). Par contre, les valeurs relativement faibles des corrélations entre la composition macérale et ces deux paramètres semblent montrer que la carbonification géochimique a été ici déterminante dans l'acquisition du rang.

E - Pouvoir réflecteur et microdureté Vickers de la collinite

La recherche des valeurs de ces deux paramètres s'applique ici au même macéral.

Nous allons maintenant étudier les rapports entre le pouvoir réflecteur et la microdureté Vickers de la collinite contenue dans les veines Jeanne et Emilie du Groupe de Lens-Liévin.

Ces charbons qui ont des teneurs en matières volatiles comprises entre 20.7 % et 29.5 % appartiennent au type V et VI de la norme française, c'est-à-dire à la catégorie des charbons gras à courte flamme et des gras proprement dits. En se référant à la figure 47, il apparaît que ces houilles présentent des microduretés Vickers oscillant entre 28 et 38 kg/mm² tandis que les pouvoirs réflecteurs sont compris entre 1.2 et 1.8 %.

On peut déceler sur cette figure un certain groupement des points liant microdureté Vickers et pouvoir réflecteur. Mais la relation est assez diffuse entre ces deux paramètres. Quand la microdureté diminue, le pouvoir réflecteur tend à augmenter. Cependant, il a été établi (Ch. Delattre et E. Mériaux, 1964) pour les charbons du bassin du Nord et du Pas-de-Calais que la courbe liant la microdureté Vickers et les teneurs en matières volatiles n'était pas simple. Pour la gamme de charbons dont font partie les veines Jeanne et Emilie la courbe passe par un minimum correspondant aux charbons gras à courte flamme et croît pour les charbons gras. Par ailleurs, on sait que la microdureté de la collinite d'un échantillon varie entre des limites parfois fort éloignées l'une de l'autre. Enfin, on se souvient que 18.8 % seulement (tabl. 15) des variations des teneurs en matières volatiles des veines Jeanne et Emilie influencent celles des pouvoirs réflecteurs. Dans ces conditions, on ne s'étonne plus de constater une très grande dispersion des points de la fig. 47. Il apparaît donc que si la microdureté apporte d'utiles renseignements sur la structure physique des houilles (cf. chapitre II, paragraphe II), par contre on ne peut la considérer comme un paramètre suivant avec fidélité les étapes de l'évolution des houilles.

F - Pouvoir réflecteur et profondeur des lieux de prélèvement

La méthode la plus commode pour suivre les phénomènes de carbonification géochimique liés à l'enfouissement consiste à étudier des charbons recueillis sur toute la hauteur d'un sondage profond. Ainsi, je considérerai d'abord les houilles du sondage Loos 5, puis je préciserai les résultats obtenus en m'attachant aux combustibles prélevés au voisinage du Tonstein Patrice et aux veines Jeanne et Emilie du groupe de Lens-Liévin.

1. Les houilles du sondage Loos 5

J'ai signalé (E. Mériaux, 1963) que les houilles de ce sondage appartenaient à une même catégorie pétrographique. Ce point est important car j'ai montré précédemment dans quelle mesure le pouvoir réflecteur d'une houille était tributaire de sa composition macérale. Il est alors possible de comparer les variations du pouvoir réflecteur en fonction de la profondeur sur cette verticale. Ceci est représenté sur la figure 34. On constate

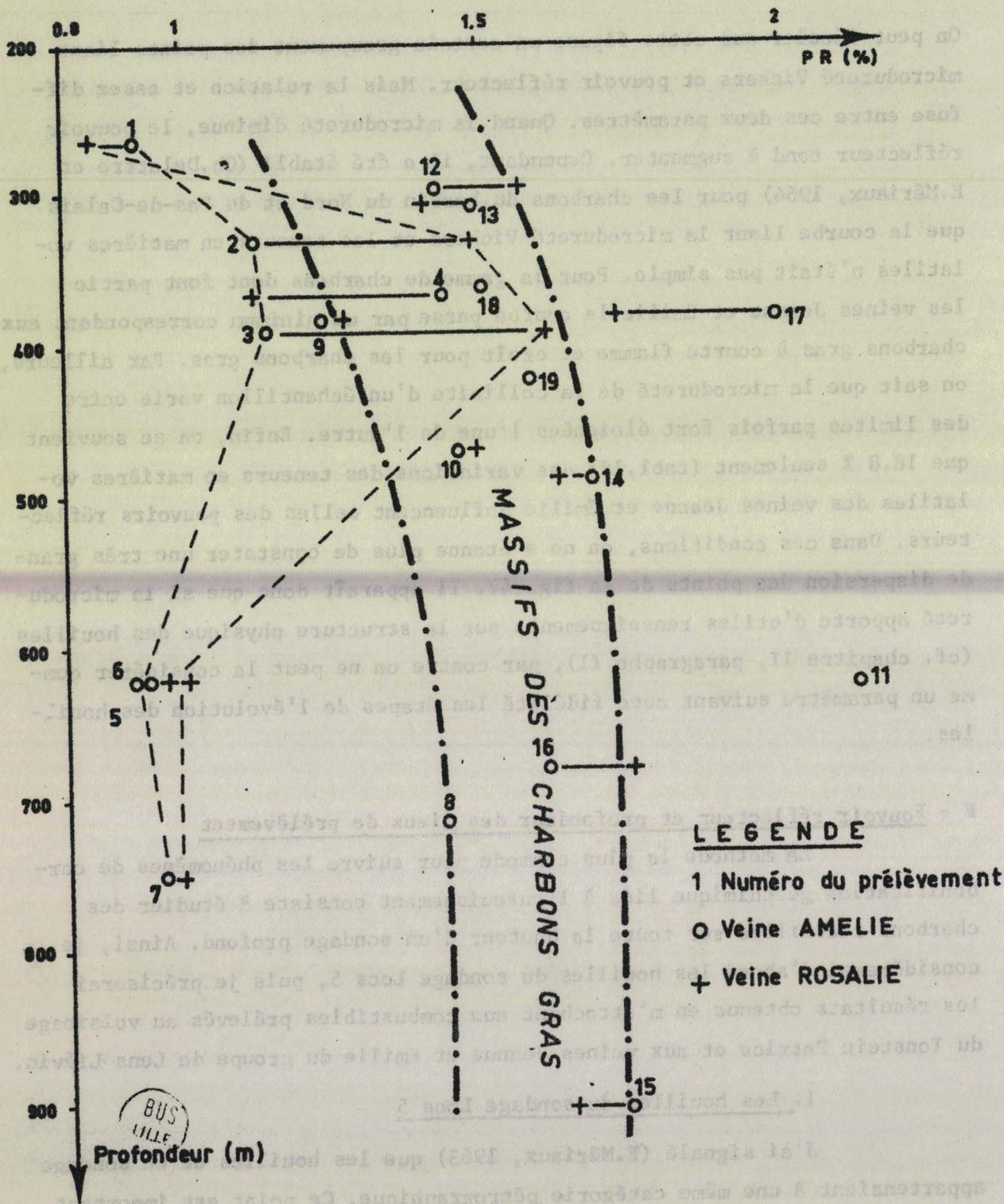


Fig. 48. — VARIATIONS DU POUVOIR REFLECTEUR DES VEINES AMELIE ET ROSALIE DANS LE BASSIN HOULLIER NORD PAS-DE-CALAIS.

que la variation est linéaire et que l'accroissement du rang avec la profondeur suit totalement la loi de Hilt. Généralement, on attribue aux effets conjugués de la température et du temps les causes d'une telle évolution (M.Teichmüller et R.Teichmüller, 1949). On sait par ailleurs que dans le bassin de la Ruhr (R.Teichmüller, 1952) la houillification de grandes surfaces était acquise avant le commencement des plissements majeurs. Or, les veines rencontrées dans le sondage Loos 5 appartiennent au Westphalien A, B et C. Il se trouve que ces assises du Westphalien sont approximativement séparées par des failles plates repérées à 657 m, 468m et 235 m de profondeur (fig.34). J'ai montré (E.Mériaux, 1964b) qu'à chaque fois que l'on change d'assise en montant dans la série stratigraphique et que du même coup, on change d'unité tectonique, les réflectogrammes "glissent" brutalement vers des valeurs moins élevées du pouvoir réflecteur, alors que dans une même assise les réflectogrammes - bien qu'ayant des formes variées - présentent des modes ayant des valeurs similaires. En raison de ces observations, il faut admettre que ou bien la houillification a précédé la mise en place des unités, ou bien les âges différents de ces charbons sont à l'origine de pouvoirs réflecteurs différents. Le groupement des valeurs du pouvoir réflecteur dans chaque unité tectonique d'une part et les variations de ce paramètre avec la profondeur d'autre part incitent à penser que les pressions pourraient être - dans ce cas particulier - à l'origine d'une certaine différenciation. Le problème est donc complexe et il ne peut être résolu que si l'on est en possession de toutes les données complémentaires.

2. Les veines voisines du Tonstein Patrice

Les veines étudiées au voisinage immédiat du Tonstein Patrice présentent, rappelons-le, un certain nombre de variations latérales du faciès pétrographique. Elles appartiennent en outre à des unités tectoniques différentes. Enfin, elles ont été, selon les lieux du prélèvement, enfouies à des profondeurs oscillant entre 209 m (prélèvement 1) et 915 m (prélèvement 15, cf. tabl.1). Ces conditions diverses expliquent aisément la dispersion des valeurs du pouvoir réflecteur des veines Rosalie et Amélie dont la figure 48 représente les variations en fonction de la profondeur à laquelle elles ont été portées dans le gisement.

a. Les charbons de la région occidentale du bassin

Les sept prélèvements effectués dans cette région sont intéressants à beaucoup d'égards. En effet, ces points de prise sont alignés du Nord-Ouest au Sud-Est et ils appartiennent au même massif tectonique des charbons demi-gras et quart-gras. Grâce au Tonstein Patrice, la corrélation des veines Rosalie et Amélie et de leurs homologues est parfaitement assurée et plus particulièrement en ce qui concerne la veine Amélie contenant le Tonstein. Enfin ces veines présentent, en dépit de variations verticales faibles mais s'effectuant toutefois d'un point à l'autre dans des sens similaires, des compositions macérales moyennes du même ordre. Ainsi, l'étude de ces veines précise celle des charbons du sondage Loos 5 en ce sens que les influences de l'âge et de la tectonique sont ici équivalentes, et que -comme je le montrerai plus loin - les variations des compositions macérales dues plus particulièrement à celles de la collinite n'ont que des effets peu importants.

La figure 48 permet de suivre l'évolution du pouvoir réflecteur des veines Amélie et Rosalie dans cette région particulière du bassin. On constate que :

- les valeurs du pouvoir réflecteur ne croissent pas régulièrement en fonction de la profondeur,
- les fluctuations des pouvoirs réflecteurs des veines Rosalie et Amélie s'emboîtent rigoureusement l'une dans l'autre,
- les pouvoirs réflecteurs de la veine Rosalie sont en général (à une seule exception près au lieu de prélèvement 1) supérieurs à ceux de la veine Amélie déposée après Rosalie.

Etant donné ces résultats, il est particulièrement intéressant de rapprocher les figures 2I et 48. La concordance entre les variations pétrographiques, en particulier l'accumulation de collinite, et celles de l'allure du fond du bassin montre que l'aire de dépôt devait elle aussi esquisser cette allure. Ces faits sont particulièrement nets dans la région occidentale du bassin qui nous intéresse ici (fig.2I). On constate (fig.48) que les valeurs des pouvoirs réflecteurs accusent aussi des fluctuations dans le même sens. Aux zones en creux correspondent des accumulations présentant des proportions de collinite et des pouvoirs

réflecteurs plus élevés que dans les aires moins profondes. Par ailleurs, on se souvient (cf. tabl. 15) qu'en ce qui concerne les veines voisines du Tonstein Patrice, seulement 11.8 % des variations du pouvoir réflecteur d'un charbon sont dues aux teneurs en collinite. En conséquence, ce macéral ne peut être tenu pour seul responsable des fluctuations du pouvoir réflecteur. Il faut donc admettre que, dans cette région, les zones originellement profondes recèlent des combustibles plus évolués que les zones moins profondes et dont le rang n'est pas directement lié à la composition macérale originelle. On admettait jusqu'alors (A. Duparque, 1933) que les zones les plus profondes du bassin de sédimentation primitif contenaient des combustibles riches en matières volatiles. Les transformations subies par les dépôts organiques étaient attribuées à des oxydations inégales (actions microbiennes ou diastatiques déterminées par l'aération du milieu) résultant des variations d'épaisseur des lames d'eau recouvrant les débris. L'examen des phénomènes observés dans la région occidentale du bassin est en contradiction avec cette hypothèse. Donc, s'il apparaît que l'individualisation des houilles est très tôt conditionnée en partie par leur composition macérale, par contre le rang ne semble pas dû ici à des conditions de sédimentation particulière liées à l'épaisseur de la lame d'eau et à son état d'agitation mais à des conditions relevant d'un enfouissement affectant ici, en même temps la veine Rosalie et la veine Amélie. Comme nous l'avons déjà remarqué pour les veines Jeanne et Emilie à propos des variations de leurs teneurs en matières volatiles, ces phénomènes relèvent d'action tardive et de grande amplitude. La similitude des valeurs du pouvoir réflecteur des veines Rosalie et Amélie en des points actuellement situés à 209 m (prélèvement 1), à 620 m (prélèvement 5 et 6) et à 744 m (prélèvement 7), montre en outre que, dans ce cas, la houillification s'est effectuée avant l'orogénèse. La concordance entre les allures du fond du bassin de sédimentation primitif et celles des variations des valeurs du pouvoir réflecteur témoignent bien en faveur de phénomènes de houillification préorogénique liée à l'enfouissement, c'est à dire à la subsidence.

On peut penser que très tôt après le dépôt des veines dans certaines zones privilégiées, les accumulations végétales étaient portées

BUS
LILLE

à des profondeurs où elles furent exposées pendant des temps très longs à des températures déterminantes dans l'acquisition du rang que nous leur connaissons actuellement. Cet enfouissement s'est bien entendu, accompagné dans le bassin du Nord et du Pas-de-Calais, de phénomènes tectoniques très importants dont les effets ont pu se superposer à ceux de la subsidence. Mais, les différences originelles du degré de houillification relevées dans les dépôts, comme ceux du groupe d'Auchel-Bruay, ont été conservées après les bouleversements tectoniques.

b. Les charbons de la région centrale du bassin

La figure 48 appelle, par ailleurs, un certain nombre de remarques complémentaires. Les charbons prélevés aux points 8 (Fosse 13 de Noeux), 9 (Fosse 5 de Béthune), 10 (Siège de 19 de Lens), 12 (Siège 12 de Lens), 13 (Siège 2 de Lens), 14 (Siège 2I Nord du Groupe d'Hénin-Liétard), et 15 (Siège 4 Sud du Groupe d'Hénin-Liétard), et 16 (Siège 2 Est du Groupe d'Hénin-Liétard) appartiennent au massif des charbons gras de la région centrale du bassin. On constate que, dans ce massif tectonique, le pouvoir réflecteur des charbons des veines Amélie et Rosalie varie peu et reste voisin de 1.5 % et ceci quelle que soit leur position géométrique dans le gisement. En revanche, les prélèvements 17 (Fosse 8 de l'Escarpelle) et 11 (Siège 13 de Lens) s'écartent de la zone des pouvoirs réflecteurs du massif des charbons gras. Bien que les charbons aient été portés, en ces deux points de prélèvement à des profondeurs moins grandes que certains combustibles du massif des charbons gras, ils possèdent néanmoins un rang plus élevé. Or on a vu que tous les charbons de la région centrale du bassin, à laquelle appartiennent ces divers prélèvements, présentent des compositions macérales originelles très voisines. J'avais toutefois noté une très légère tendance à une augmentation des pourcentages des matériels ligneux du Sud vers le Nord du bassin et ceci selon le méridien de Lens : cependant si l'on se réfère au tableau 15 on constate que, pour les veines voisines du Tonstein Patrice, seules les variations de la vitrinite et de l'exinite influencent de manière globale celles des valeurs du pouvoir réflecteur. Or, on constate (fig. 20 et 22) que les macéraux principaux de ces deux groupes (V et E) accusaient peu de variations dans cette région du bassin. Par ailleurs, en ce qui concerne les veines voisines de Patrice,

le tableau 15 montre que des variations particulières des pourcentages en micrinite massive et fusinite - l'influence des variations des teneurs globales en inertinite étant nulle sur celle du pouvoir réflecteur - peuvent avoir des répercussions sur le pouvoir réflecteur et cela selon des pourcentages respectivement égaux à - 16,4 % et + 9 %. La plus-value des valeurs du pouvoir réflecteur des houilles prélevées en 17 et 11 par rapport aux veines du massif des charbons gras devrait avoir pour cause une diminution des teneurs en micrinite massive corrélativement à une augmentation de celles en fusinite dans les analyses macérales. En se reportant aux figures 24 et 26 qui montrent les variations latérales des teneurs de ces composants, on constate une similitude entre les proportions en macéraux de ces charbons et de leurs voisins. Seule la couche homologue de la veine Amélie à la Fosse 8 de l'Escarpelle est différente et montre un accroissement des teneurs en tissus ligneux. D'une manière générale, les variations des teneurs macérales ne peuvent donc expliquer l'augmentation des valeurs des pouvoirs réflecteurs.

Enfin, l'examen de la figure 2 montre que la veine Amélie dans laquelle est inclus le Tonstein Patrice (courbe AA') a subi dans la zone nord du Groupe de Lens-Liévin un enfouissement plus important que dans la zone sud de ce groupe d'exploitation. De la même manière, en se dirigeant vers l'Est (du point 16 au point 17) on voit que le fond du bassin s'abaissait selon cette direction. Par conséquent, ici encore, la concordance entre les allures du fond et celles des variations des valeurs du pouvoir réflecteur attestent en faveur de phénomènes de carbonification préorogénique.

c. Les charbons de la région orientale du bassin

Au groupe d'exploitation de Valenciennes, à la Fosse Cuvinot, les deux veines 19 et 20 sont rencontrées toutes deux, par le jeu des plissements, à deux niveaux différents. Les variations du pouvoir réflecteur de veines disposées de cette manière a déjà fait, dans le bassin lorrain, l'objet d'études particulières (B. Alpern, 1964). La veine 5 du siège de Merlebach a montré des variations de 0.02 % pour 100 m de dénivelé et cette carbonification a été attribuée exclusivement à des phénomènes postorogéniques.

A Valenciennes, l'étude des 19e et 20e veines, échantillonnées à 320 m et 460 m de profondeur, a donné les résultats consignés dans le tableau 16. Les indices de gonflement sont presque constants et les teneurs en matières volatiles varient conformément à la loi de Hilt. J'ai montré que la 20e veine de la 3e série (prélevée à 420 m de profondeur) présente une composition macérale différente des autres veines. En effet, elle comporte des pourcentages de fusinite plus importants que les veines et passées sous-jacentes. Quand on connaît le comportement de ce composant vis-à-vis du pouvoir réflecteur des houilles voisines du Tonstein Patrice

Veine	Etage	IG	MV(%)	PRU(%)
20	360	8,3	24,4	1,508
	420	8,2	24,1	1,637
19	360	8,3	25,3	1,508
	420	8,5	24,9	1,570

Tableau 16 .- Caractères chimiques et pouvoir réflecteur des veines prélevées à la fosse Cuvinot du Groupe de Valenciennes.

(cf. Tableau 15), on n'est pas étonné de voir que la 20e veine a un pouvoir réflecteur plus élevé à 420 m qu'à 360 m. La comparaison des pouvoirs réflecteurs de la 19e veine prise à 360 m et à 420 m de profondeur, c'est-à-dire en deux points où elle présente la même composition macérale, montre que ce caractère physique subit une variation d'environ 0,1 % pour 100 m. Cette valeur de carbonification paraît considérable, cependant elle semble du même ordre de grandeur que dans la région occidentale du bassin. Toutefois, ici, en raison du manque d'information relative à l'allure du fond du bassin, l'époque exacte de cette différenciation des charbons n'a pu être précisée. Tous les paramètres jouant dans le même sens, il devient difficile de savoir lequel d'entre eux a été déterminant dans ce cas précis. Mais, ici encore, la profondeur atteinte par la veine avant les mouvements paroxysmaux semble avoir été prépondérante.

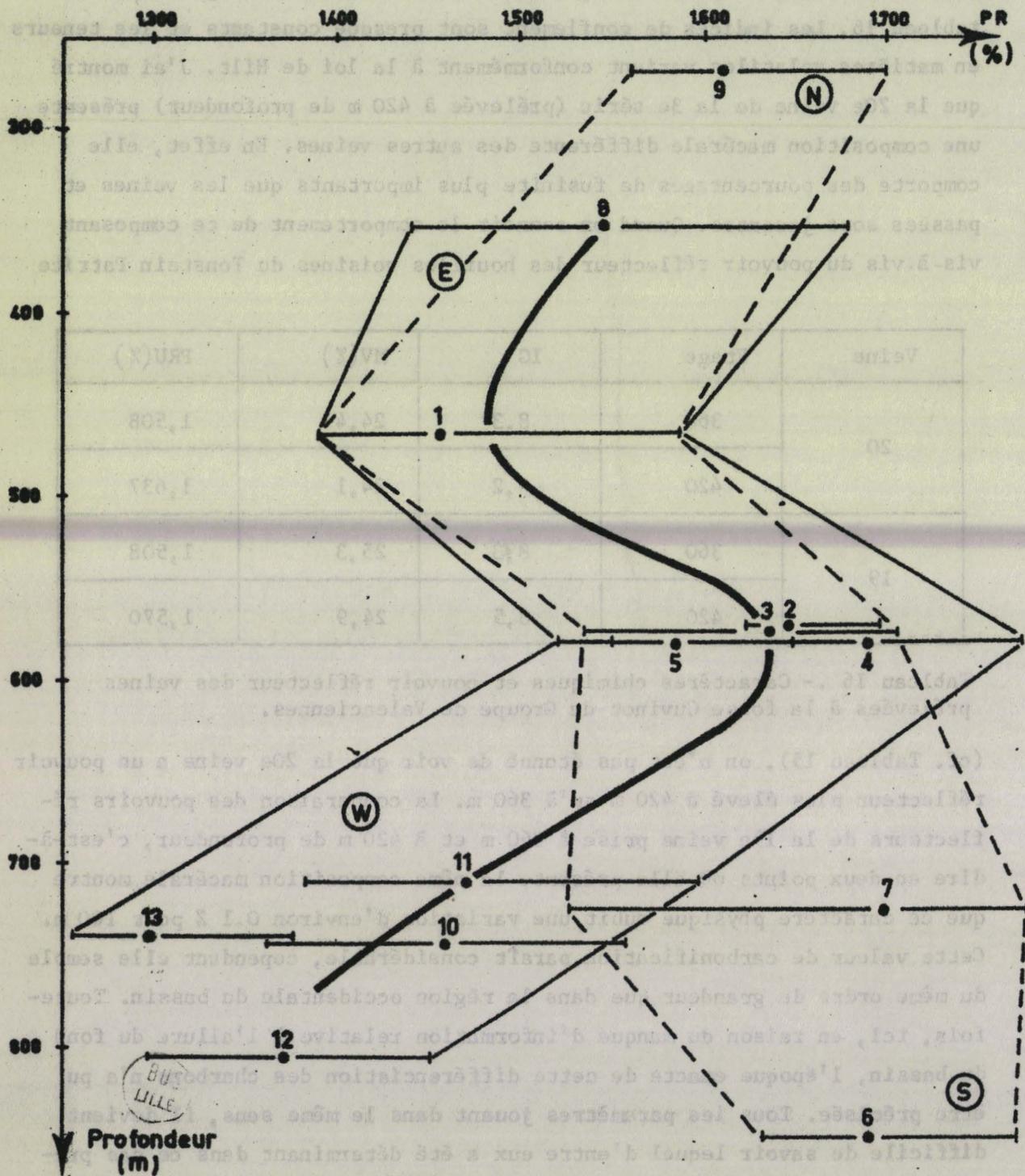


Fig. 49. — VEINE JEANNE. RELATIONS ENTRE LE POUVOIR REFLECTEUR ET LA COTE DU LIEU DE PRELEVEMENT.

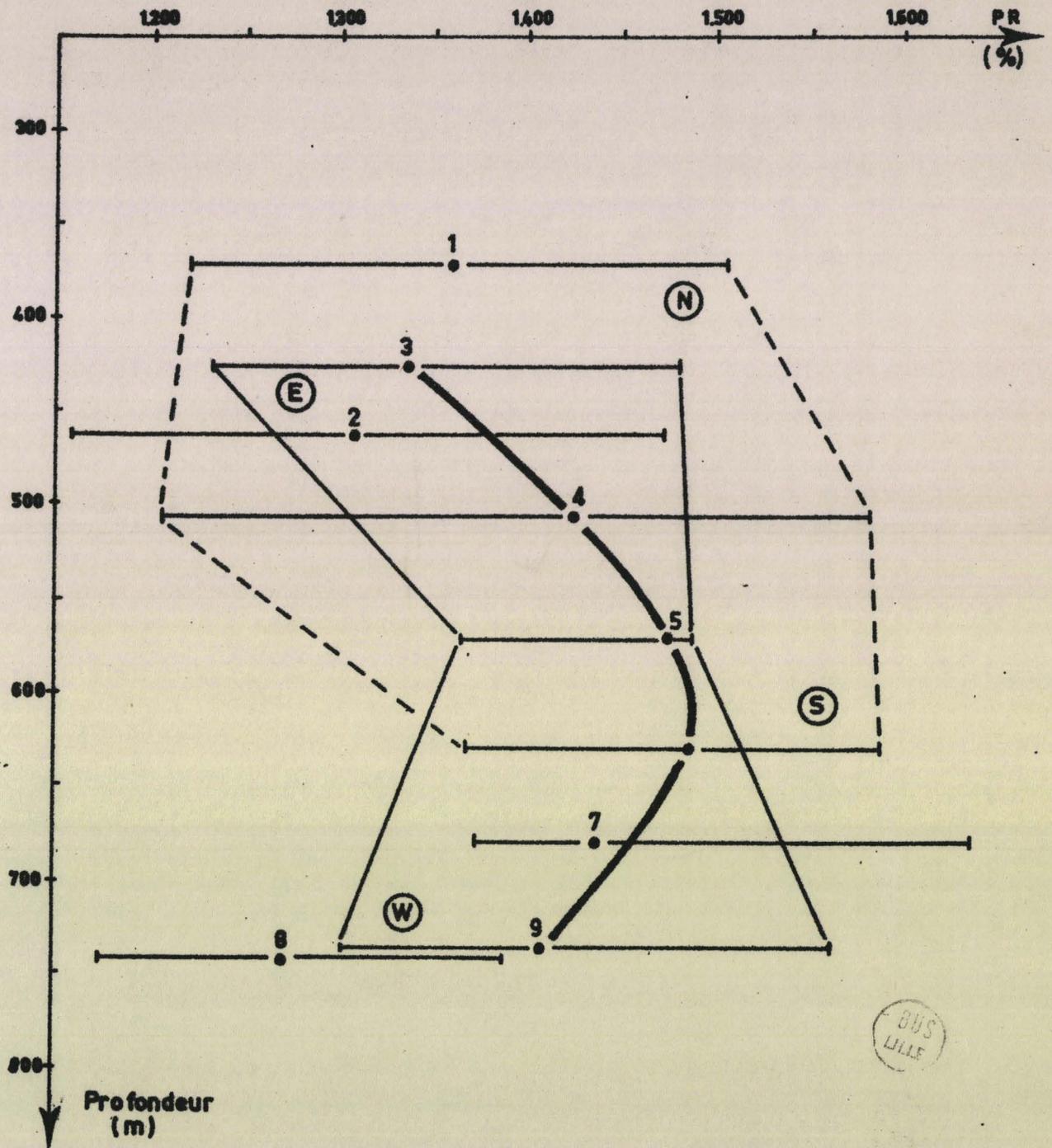


Fig. 50. — VEINE EMILIE. RELATIONS ENTRE LE POUVOIR REFLECTEUR ET LA COTE DU LIEU DE PRELEVEMENT.

3. Les veines Jeanne et Emilie du Groupe de Lens-Liévin

J'ai montré à propos de l'étude de la microdureté et des teneurs en matières volatiles de ces veines que ces paramètres étaient intimement liés mais que leurs rapports respectifs restaient indépendants de leur position géométrique actuelle.

J'ai pu disposer pour établir ces relations d'un grand nombre d'analyses chimiques accumulées depuis fort longtemps par le Service géologique des Houillères du bassin du Nord et du Pas-de-Calais au fur et à mesure de l'exploitation de ces veines. Le nombre d'échantillons sur lesquels j'ai pu effectuer des mesures de pouvoir réflecteur est certes moins élevé, mais j'ai toutefois pu suivre les variations de ce paramètre particulièrement précieux sur une grande partie du groupe d'exploitation. Bien entendu, la densité des points où le pouvoir réflecteur a pu être étudié est moins grande que dans le cas des teneurs en matières volatiles. Les résultats obtenus n'en demeurent pas moins des plus intéressants.

Les figures 49 et 50 montrent les relations entre le pouvoir réflecteur des combustibles des veines Jeanne et Emilie et la cote de leur lieu de prélèvement. Les numéros des divers points de prélèvements correspondent à ceux des tableaux 8 et 9. Par ailleurs, à chaque point, j'ai noté par une droite les valeurs maximales et minimales du pouvoir réflecteur enregistrées dans toute l'épaisseur de la veine. Le point figuré sur cette droite représente la valeur moyenne du pouvoir réflecteur de la veine. D'Est en Ouest, les charbons accusent des variations de leur pouvoir réflecteur soulignées par un graphique en trait continu (—) à l'intérieur duquel j'ai joint par une courbe les différentes valeurs moyennes rencontrées selon cette direction. Les points de prise alignés du Nord au Sud présentent des charbons dont les variations du pouvoir réflecteur sont indiquées par le graphique en trait tiré (- - -).

Je rappellerai brièvement que ces deux veines ayant approximativement la même composition macérale, s'enfoncent régulièrement du Nord vers le Sud du bassin. J'ai montré lors de l'étude des variations de leurs

teneurs en matières volatiles que les lignes isovolatiles s'emboîtaient régulièrement d'une veine à l'autre. Par ailleurs, d'une manière générale, on constate - et ceci est particulièrement visible sur les figures 37 et 38 - une diminution très nette des teneurs en matières volatiles vers l'Est du groupe d'exploitation. La veine Jeanne (fig 37) montre, quant à elle, une légère tendance (points 44 et 42) à voir ses matières volatiles diminuer dans la partie sud-ouest du groupe. Par contre, du Nord au Sud, j'ai montré (fig. 35 et 36) que les variations de ce paramètre ne suivaient pas une évolution conforme à la loi de Hilt. En définitive les courbes isovolatiles des veines Jeanne et Emilie ont des tracés totalement indépendants de l'allure géométrique des veines bien que la composition macérale soit à peu près constante. On est alors tenté de conclure conformément aux schémas proposés par M. Teichmüller et R. Teichmüller (1966, fig. 9, p. 254) à une houillification synorogénique ou postorogénique. Bien qu'une certaine évolution localisée de ces veines soit, comme je l'ai montré précédemment, liée à des phénomènes synorogéniques on pourrait être conduit à conclure que pour ces veines l'évolution régionale résulte essentiellement de causes postorogéniques. En réalité, les faits sont plus complexes. L'étude du pouvoir réflecteur a permis de corroborer celle des variations des teneurs en matières volatiles et d'étayer plus efficacement les hypothèses.

La veine Jeanne (fig. 49) montre du Nord au Sud et de l'Est à l'Ouest des variations du pouvoir réflecteur parfaitement en accord avec celles des teneurs en matières volatiles. Ainsi, aux diminutions des pouvoirs réflecteurs vers l'Ouest correspondent des augmentations des matières volatiles conformément aux corrélations établies statistiquement (cf. tabl. 15). En ce qui concerne la veine Emilie, le nombre de points d'étude est moins élevé et les faits sont moins nets. Cependant, les variations enregistrées de l'Est à l'Ouest sont du même type que celles de la veine Jeanne. Du Nord au Sud, les variations des valeurs du pouvoir réflecteur sont ici moins sensibles.

Or, en nous référant, comme nous l'avons fait lors de l'étude des veines voisines du Tonstein Patrice et plus particulièrement de celles

situées dans la région occidentale du bassin, à l'allure du fond de la lagune au moment du dépôt des veines Jeanne puis Emilie, nous constatons des faits des plus importants. Les veines Jeanne et Emilie sont situées, rappelons-le, au-dessus de la veine Hyacinthe (A. Bouroz, M. Euisine, J. Charlard, A. Dalinval et P. Dollé, 1964, fig. 4) elle-même "correlée" avec les veines Rufine et Bienvenue des groupes d'exploitation d'Auchel-Bruay et de Béthune. Or, on admet généralement une pérennité en certains points (1) de zones subsidentes présentant des amplitudes sensiblement du même ordre. Dans ces conditions, le fond de la lagune devait présenter lors du dépôt des veines Jeanne puis Emilie une allure semblable à celle qu'il présentait lors du dépôt de la veine "Rufine-Bienvenue-Hyacinthe" (fig. 2a, profil BB') située immédiatement au mur de Jeanne. Ainsi, de l'Ouest à l'Est la lagune va en s'approfondissant régulièrement comme l'a montré P. Pruvost (1930, fig. 7, p. 560). Cependant le profil longitudinal montre un ressaut au niveau du méridien du groupe de Lens. Cette anomalie apparaît clairement (courbe en trait plein) sur la figure 49 (veine Jeanne) et demeure sensible sur la figure 50 (veine Emilie). Le pouvoir réflecteur restitue donc cette allure du fond de la lagune et aux zones profondes correspondent des pouvoirs réflecteurs plus élevés que dans les autres zones.

L'évolution nord-sud révèle - particulièrement pour la veine Jeanne - des phénomènes identiques. On se rappelle que cette région du bassin avait tendance à présenter une partie nord plus profonde que la partie sud. Les variations nord-sud des valeurs du pouvoir réflecteur de la veine Jeanne traduisent bien ce fait (fig. 49).

Par conséquent, s'il existe une indépendance totale entre l'allure géométrique actuelle de ces veines du groupe de Lens-Liévin et leurs lignes isovolatiles, on constate, en revanche, une relation frappante entre l'allure du fond de la lagune et les courbes de variations du pouvoir réflecteur de ces houilles. Cette concordance traduit bien l'influence de phéno-

(1) j'ai montré que cela se passait de cette manière pour deux horizons successifs (cf. fig. 2a) dans les Groupes d'Auchel-Bruay et de Lens-Liévin.

mènes antérieurs aux phénomènes orogéniques paroxysmaux. Cette carbonification affectant en même temps plusieurs veines est donc par ailleurs postérieure à la diagenèse de chacune d'elles et semble en définitive intimement liée à l'enfouissement c'est-à-dire à la subsidence. Si la subsidence conditionne la sédimentation dans la lagune, elle permet en outre la transformation géochimique des dépôts fossilisés et ces modifications sont dues, semble-t-il, aux effets de la température.

Bien entendu, en raison des grands bouleversements tectoniques subis par le bassin, la disposition géométrique des veines a été totalement modifiée sans que pour autant le phénomène de houillification ne s'arrête. La loi de Hilt en est le témoignage actuel. Qu'elle soit pré ou postorogénique la carbonification se fait donc per ascensum et le temps et la température en sont les facteurs déterminants.

Récemment R.J.H. Patijn (1964) a mis en évidence dans le Nord-Est des Pays-Bas des phénomènes de rehouillification à l'échelle régionale résultant d'affaissements récents (tertiaires et quaternaires) et affectant des charbons originellement peu évolués. En outre, il montre que les combustibles ayant atteint un rang élevé à l'époque houillère "*n'ont aucune chance de se houillifier à nouveau*". Par ailleurs, il constate qu'une activité "magmatique" a transformé certains charbons jusqu'au stade de l'antracite. Des faits semblables ont été décrits ailleurs avec beaucoup de précision (M. Schwab, 1962 ; J. Fabre et R. Feys, 1963 ; H.J. Kisch et G.H. Taylor, 1966 ; R. Feys, J. Geffroy et P. Vetter, 1967 ; M. Lambrecht, 1967). Mais ce sont là des phénomènes très locaux à caractère instantané et dont l'ampleur n'atteint pas les phénomènes de rehouillification régionale étalés sur de longues périodes géologiques.

On explique beaucoup mieux certaines inversions des variations des teneurs en matières volatiles de huilles rencontrées en sondage. Les sautes des valeurs des pouvoirs réflecteurs constatées dans le sondage Loos 5 à chaque fois que l'on change de massif tectonique, ne seraient pas dues aux effets des phénomènes orogéniques. Les causes sont à rechercher plutôt

dans l'évolution propre de chaque massif avant sa mise en place dans le bassin. Puis, les veines de houille continuent, dans leur nouvelle disposition géométrique, à subir les effets de la température ce qui estompe l'évolution pétrographique initiale. Inversement, des veines ont pu, au cours de la subsidence, être portées à de grandes profondeurs et y subir une houillification très importante puis être ramenés à la faveur de phénomènes tectoniques à des profondeurs moins importantes où elles ont conservé les caractères acquis initialement.

Ceci expliquerait que les charbons les plus anciens sont souvent les plus évolués. La répartition en bandes parallèles de charbon ayant le même degré de houillification résulterait de phénomènes préorogéniques que la tectonique aurait exhumés. Cette disposition particulière des houilles qu'on avait parfois liée aux pressions statiques et dirigées dues aux plissements - les charbons les plus septentrionaux, ayant supporté tout le poids et l'action des nappes issues du Sud, étant les plus houillifiés - serait en fait le résultat de réajustement géométrique de combustibles ayant acquis leur rang très précocement.

On peut toutefois évoquer que la tectonique modifie en l'augmentant le gradient géothermique d'un bassin. O.S. Kuyl et R. J.H. Patijn (1958) ont démontré ce processus sur des charbons peu houillifiés, éocènes et jurassiques, provenant de forages très profonds au Vénézuéla et en Californie. Ce changement montre que l'orogénèse peut ralentir plus que favoriser la houillification exothermique en modifiant les effets du gradient géothermique.

On a coutume d'associer aux effets de la température celles des pressions. Dès 1928, A. Duparque a montré que *"les actions mécaniques se révèlent impuissantes à modifier suffisamment la houille pour la faire passer d'une catégorie dans une autre"*. En 1943, X. Stainier (p. M. 348) estime que la pression statique joue *"un rôle... dans le changement des caractères physiques (éclat, cohérence, texture, densité) des matières végétales et des produits de leur houillification"*. De plus, *"loin de pouvoir*

produire la dévolatilisation des couches inférieures, elle est au contraire un obstacle à cette dévolatilisation" (p. M.368). Enfin, il estime que la pression dynamique n'aurait joué aucun rôle dans le processus de houillification.

Des expériences récentes rappelées par M. et R. Teichmüller (1967 in G. Larsen et G.V. Chilingar, Chap. 8 ; et 1968 in D.G. Murchison et T.S. Westoll, Chap. 11) ont montré que la pression statique ne favorise pas le processus chimique invoqué dans la houillification mais qu'elle le retarde plutôt. J'ai montré, (E. Mériaux, 1964a) par des mesures de détail réalisées dans un échantillon de houille du sondage Loos 5, que la valeur moyenne du pouvoir réflecteur maximal de zones mylonitisées est inférieure à celle de zones intactes. La pression changerait seulement la structure physique confirmant ainsi l'hypothèse de travail de X. Stainier. L'orientation des micelles, dont nous avons parlé au cours de l'étude de la microdureté et l'acquisition de l'anisotropie attestent ce fait. Par ailleurs, M. et R. Teichmüller (1967 et 1968) ont montré la très grande importance du facteur temps dans les mécanismes de carbonification.

Pour R.P. Suggate et J.O. Elphick (1964), l'acquisition du rang dépendrait pour une grande part du gradient géothermique. La présence dans le bassin de Moscou de lignite carbonifère n'ayant subi aucun grand enfouissement (A. Wéry, 1958) en est le témoignage. En revanche, l'étude de combustibles jurassiques (E. Mériaux, 1966a) provenant d'une zone montagneuse du Turkestan afghan a montré que, par leurs caractères généraux, ces charbons s'apparentaient à certaines houilles du bassin du Nord et du Pas-de-Calais.

D. Chandra (1965b) a pensé utiliser le pouvoir réflecteur pour évaluer la température subie par un combustible au cours de son enfouissement.

IV . EXAMEN DES HOUILLES EN DIASCOPIE INFRA-ROUGE

J'ai montré dans quelle mesure le stade d'évolution atteint par un charbon est lié à sa composition macérale originelle. Composition

macérale et enfouissement pré ou post-orogénique sont deux paramètres complémentaires déterminant le rang d'un charbon. J'exposerai maintenant les résultats qualitatifs d'observation en diascopie infra-rouge permettant de mieux discerner la composition macérale des houilles très évoluées.

J'ai rappelé dans les pages précédentes, les méthodes utilisées pour étudier les charbons avec des rayonnements incidents du proche infra-rouge. Les études de ce type réalisées sur les combustibles du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais n'ont qu'un caractère qualitatif. Cela tient essentiellement au fait qu'il est très difficile d'obtenir des lames minces d'épaisseur constante dans des houilles de rang différent. Par ailleurs, pour comparer les observations faites à l'infra-rouge et celles réalisées en lumière incidente visible, force nous est de procéder au polissage des lames minces. Ce polissage entraîne automatiquement des inégalités très grandes dans la lame puisqu'il est justement destiné à produire un certain relief. En raison de ces difficultés je n'ai pu procéder à des mesures quantitatives des phénomènes d'absorption.

J'ai étudié une gamme de charbons très grande dont les teneurs en matières volatiles sont comprises entre 3 et 38 %. L'observation se fait en lumière polarisée.

Le premier fait qui est apparu est le suivant : les combustibles deviennent absolument imperméables à l'infra-rouge, et cela quelle que soit la position de la platine, au-delà de 4 % environ de teneurs en matières volatiles. Ce phénomène s'opère très brutalement aux environs d'un seuil situé entre 90 et 95 % de teneurs en carbone.

En deçà de ce seuil, j'ai pu étudier l'aspect des macéraux et leur stratification dans les lames. C'est le matériel bitumineux (exinite) qui apparaît le plus clair; en revanche, le matériel ligneux (inertinite) est toujours noir; le ciment présente, quant à lui, une teinte intermédiaire entre celle de l'exinite et celle de l'inertinite. L'argile qui est parfois accumulée en fins lits dans certaines passées schisteuses apparaît claire. Le ciment présente un aspect généralement granuleux et chagriné.

Jusqu'ici seulement les techniques d'observation au microscope électronique de répliques de surfaces polies, avaient permis de mettre en évidence cette allure particulière (B. Alpern, 1959). La micrinite fine ou massive est de teinte noirâtre. Cette couleur confirme bien l'origine ligneuse de ces matériels. Il est particulièrement intéressant de noter les allures des contours de la semifusinite. La semifusinite placée au contact d'une vitrinite passe insensiblement d'une teinte noirâtre à une teinte de plus en plus claire proche de celle de la collinite. J'ai pu effectuer dans une même lame, grâce à une cellule photoélectrique ultrasensible, des mesures relatives de ce phénomène. Certaines collinites seraient donc secondairement amorphes.

L'intérêt de cette technique particulière est très important car il recule les limites de l'observation classique en lumière incidente à l'immersion dans l'huile. En effet, dans certaines houilles observées en lumière polarisée, la stratification n'est que sporadiquement marquée à la faveur de tissus ligneux ou de cuticules étalées dans ce plan. Observée en diascopie dans le proche infra-rouge, la microstratification est immédiatement restituée et ce qui est plus important encore c'est que le matériel bitumineux apparemment estompé et fondu dans la pâte en lumière incidente est alors révélé en infra-rouge.

Cette méthode d'étude est donc particulièrement riche en enseignements. Certaines houilles situées bien au-delà des limites possibles d'observation de la sporinite en lumière incidente, contiennent effectivement ce macéral. Ce fait avait déjà été mis en évidence par R. Noël (1956b) dans des anthracites belges bien moins évolués que ceux que j'ai observés en infra-rouge. Il faut donc conclure à une persistance possible de la constitution originelle des charbons dans toute la gamme des combustibles, constitution restituée par l'examen à l'infra-rouge. L'étude de l'évolution d'anthracites marocains (E. Mériaux, 1967) a récemment confirmé ce phénomène. Sans oublier, comme je l'ai montré précédemment, que le rang d'un combustible est, en partie, fonction de sa composition originelle, il semble bien que ce seul critère ne peut suffire à la détermination précise du rang.

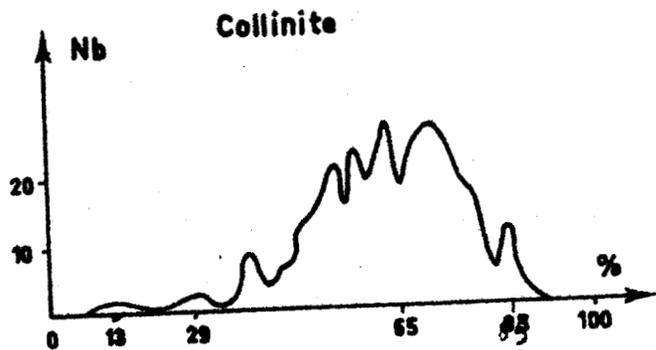


Fig. 51a.---

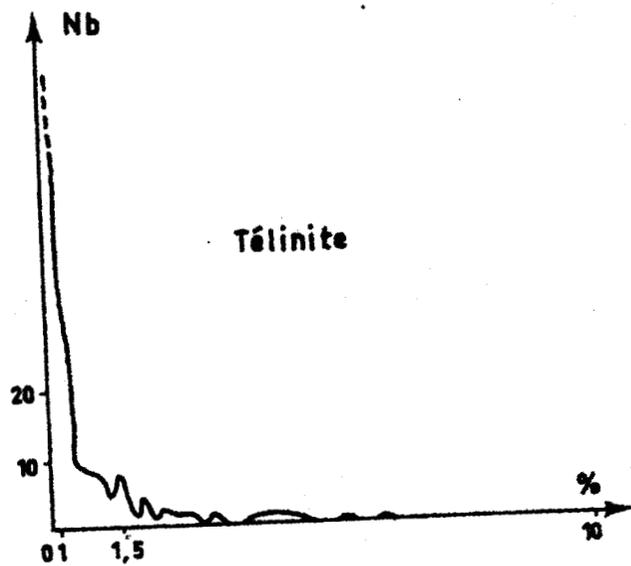


Fig. 51b.---

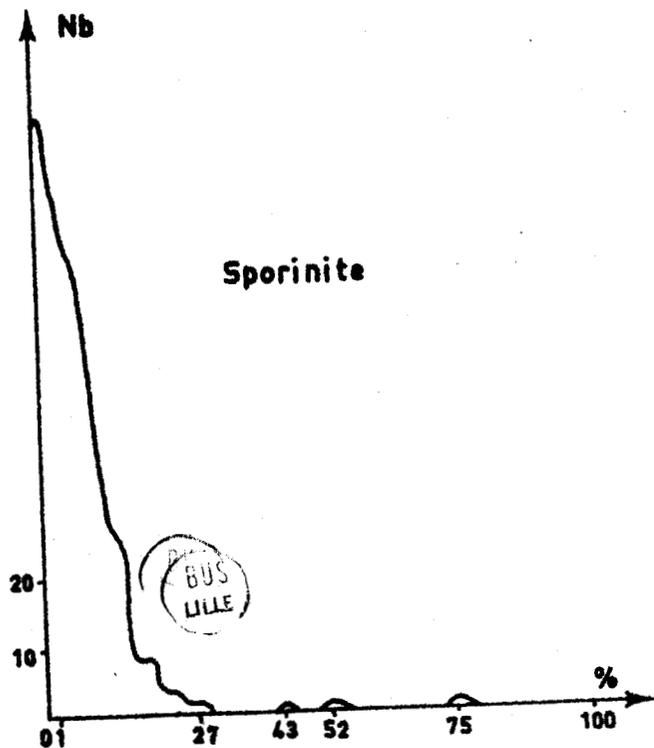


Fig. 51c.---

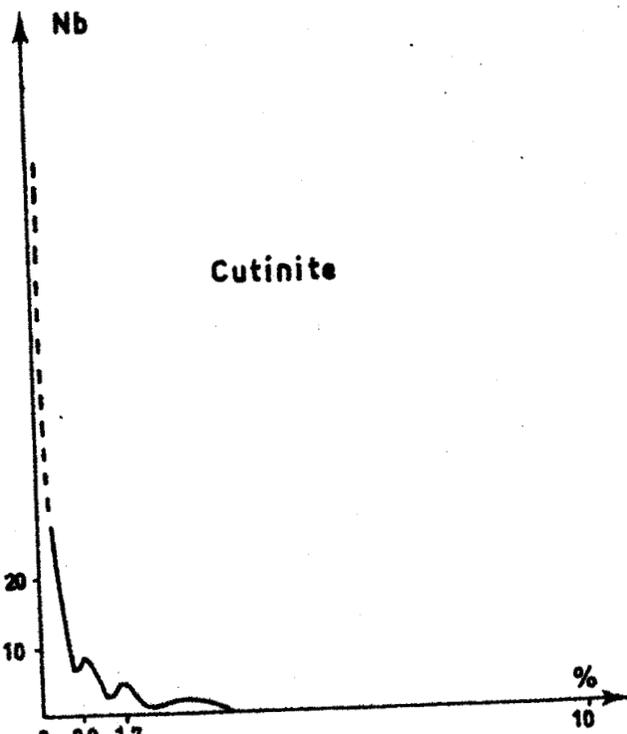


Fig. 51d.---

Fig. 51. --- FRÉQUENCE DES MACÉRAUX DANS LES CHARBONS .

V . RECHERCHE SUR ORDINATEUR DE TYPES PETROGRAPHIQUES DE HOUILLES

Comme nous l'avons constaté, les houilles étudiées ont des compositions macérales semblables tout en appartenant à des catégories chimiques différentes. En guise de vérification de ces observations, j'ai cherché, avec l'aide du Laboratoire de Calcul de la Faculté des Sciences, à définir des types pétrographiques de houilles essentiellement basés sur les compositions macérales originelles. J'ai tout d'abord été amené à étudier la fréquence des macéraux dans les charbons. Les figures 51, 52 et 53 montrent la répartition respective de chacun des macéraux. En abscisse est porté le pourcentage du macéral et en ordonnée le nombre d'échantillons présentant ce pourcentage.

1. Etude de la fréquence de la collinite

La collinite est, rappelons-le, le constituant le plus abondant des houilles du bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Les teneurs oscillent entre 9 % dans les charbons cendreux et plus de 90 % pour les combustibles les plus riches. La courbe de répartition de la collinite est unimodale (fig. 51a) malgré un certain nombre de pics épars (13, 29, 37, 53, 57, 63, 71 et 85 %). Cette courbe possède cependant approximativement à l'endroit de ce qui devrait être son mode (abscisse du palier à fréquence maximale) une valeur plus faible que ses voisines. On est alors tenté de prendre cette valeur égale à 65 % de collinite comme limite et de penser que l'on peut grâce à cette courbe faire deux catégories de houilles; l'une ayant moins de 65 % de collinite et l'autre en possédant plus. Nous verrons que cette manière de diviser cette courbe de fréquence unimodale n'est pas conforme à la réalité.

2. Etude de la fréquence de la télinite

La télinite est un macéral accessoire et il apparaît d'emblée sur la figure 51b que la quasi-totalité des houilles du bassin du Nord et du Pas-de-Calais en renferme entre 0.1 et 0.2 %. Quelques échantillons seulement en contiennent 1.5 %, 1.9 %, 4.1 % et 5.5 %. Dans ces conditions la télinite ne peut constituer un critère de différenciation des houilles.

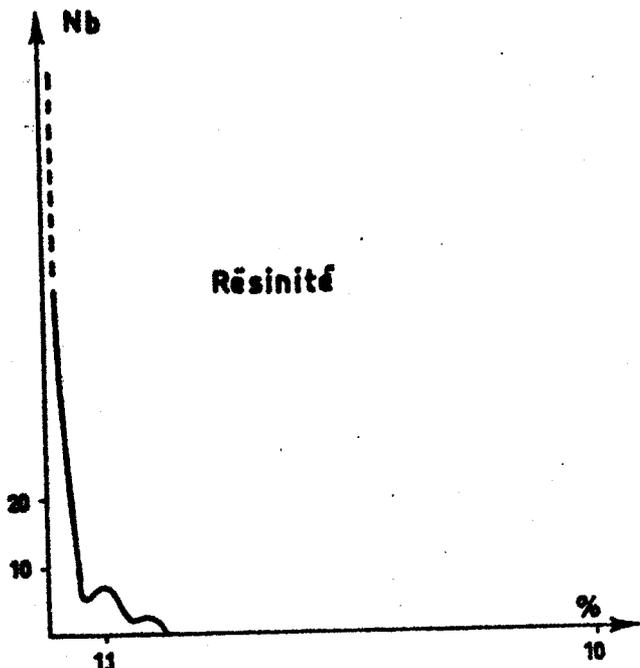


Fig. 52a. —

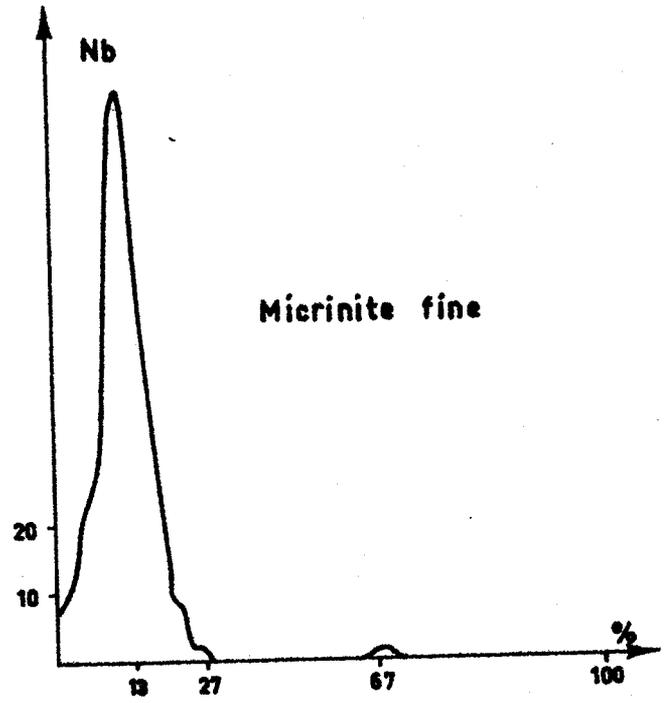


Fig. 52b. —

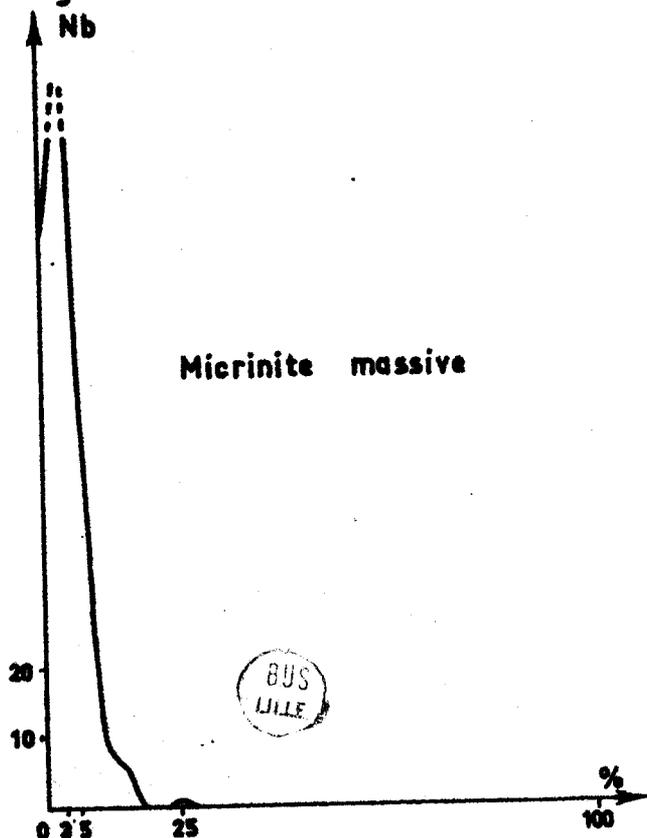


Fig. 52c. —

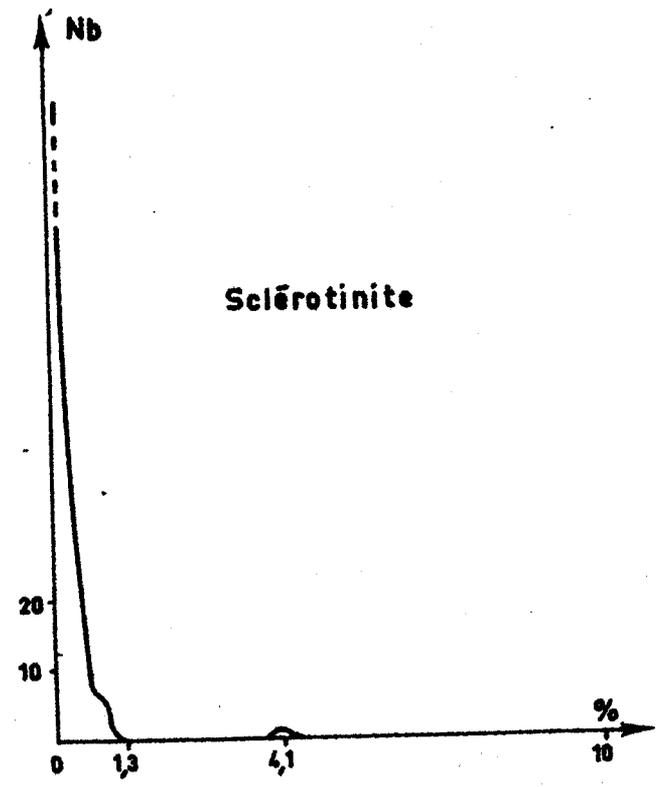


Fig. 52d. —

Fig. 52. — FRÉQUENCE DES MACÉRAUX DANS LES CHARBONS .

3. Etude de la fréquence de la sporinite (fig. 51c)

On sait que la classification pétrographique des houilles établie par A. Duparque est essentiellement basée sur les teneurs des combustibles en cutine (spores et cuticules) ou en tissus ligneux altérés ou non. La fréquence de la sporinite dans les charbons étudiés revêt, dans ces conditions, un caractère tout à fait particulier. La figure 51 c représente la fréquence de ce macéral dans les houilles de l'horizon du Tonstein Patrice. Il apparaît que peu de combustibles (3 échantillons seulement) renferment plus de 27 % de sporinite. La teneur en sporinite de la majeure partie des charbons est comprise entre 0 et 27 %, et parmi eux la plupart (4/5 environ) en contient moins de 10 %. Ici encore la courbe de fréquence est unimodale et la sporinite ne peut, pour ces combustibles, constituer un caractère distinctif.

4. Etude de la fréquence de la cutinite (fig. 51 d)

Les charbons étudiés renferment peu de cuticules dont les teneurs oscillent entre 0.1 et 0.2 %. Quelques échantillons en contiennent 1 % ou plus.

5. Etude de la fréquence de la résinite

La figure 52 a montre que la résinite, comme la cutinite, est un macéral accessoire des houilles voisines du Tonstein Patrice. Les pourcentages de ce constituant élémentaire oscillent entre 0.1 et 0.2 %. La quasi-totalité des houilles présente ces proportions.

6. Etude de la fréquence des micrinites

Les figures 52 b et 52 c représentent respectivement les fréquences de la micrinite fine et de la micrinite massive dans les combustibles.

Environ le quart des échantillons renferme 13 % de micrinite fine. La proportion de ce composant est comprise entre 0 et 27 %.

La courbe de fréquence de la micrinite massive n'a pu être tracée dans sa totalité. En effet, les 2/3 des échantillons possèdent des pourcentages en micrinite massive également répartis et compris entre 2 et 6 %. Les courbes de fréquence des micrinites sont toutes deux unimodales.

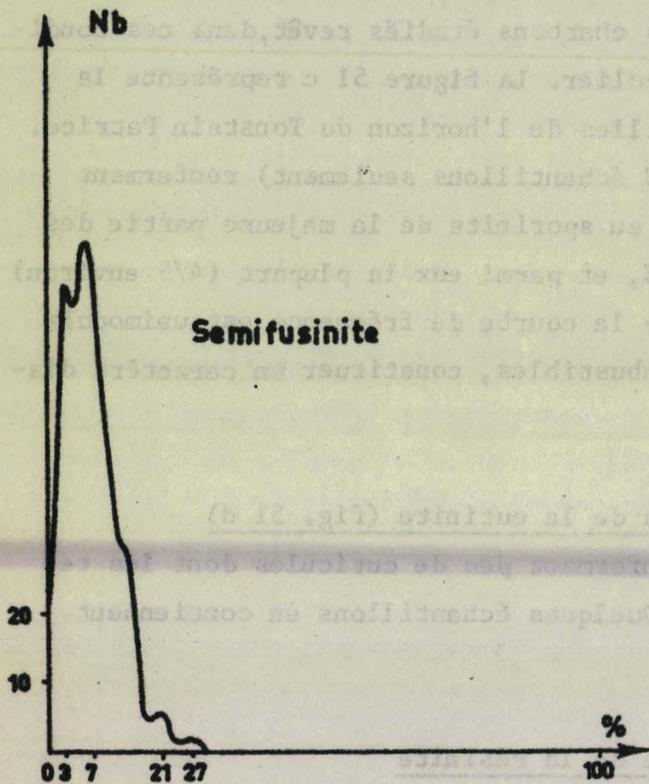


Fig. 53a. — (BUS) 1911

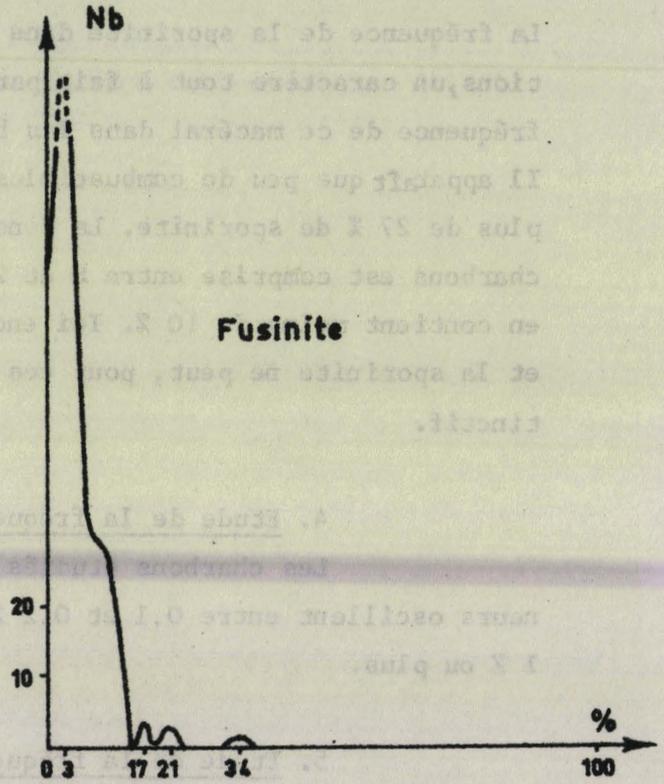


Fig. 53b. —

Fig. 53. — FRÉQUENCE DES MACÉRAUX DANS LES CHARBONS.

Etude de la fréquence des macéraux dans les charbons. On sait que la classification géologique des houilles est due par A. Duparc au classement basé sur les teneurs des macéraux en cutine (spores et cuticules) ou en classes liées au nom de la fréquence de la spore. La figure 51 a représenté la fréquence de ce macéral dans un horizon de l'horizon du Tonsain (France). Il apparaît que par de nombreuses coupes (échantillons) seulement plus de 2% de spores. La courbe en spores de la majeure partie des charbons est comprise entre 0 et 2%, et parait aux figures 52 et 53. On voit encore la coupe de la courbe de la fréquence des macéraux en cutine et la spore ne peut pas constituer un macéral distinct.

Etude de la fréquence de la cutine (fig. 51 b). Les charbons de la région de l'horizon du Tonsain ont des teneurs oscillant entre 0,1 et 0,2%. Quelques échantillons en contiennent 1% ou plus.

Etude de la fréquence des macéraux dans les charbons. On sait que la classification géologique des houilles est due par A. Duparc au classement basé sur les teneurs des macéraux en cutine (spores et cuticules) ou en classes liées au nom de la fréquence de la spore. La figure 51 a représenté la fréquence de ce macéral dans un horizon de l'horizon du Tonsain (France). Il apparaît que par de nombreuses coupes (échantillons) seulement plus de 2% de spores. La courbe en spores de la majeure partie des charbons est comprise entre 0 et 2%, et parait aux figures 52 et 53. On voit encore la coupe de la courbe de la fréquence des macéraux en cutine et la spore ne peut pas constituer un macéral distinct.

7. Etude de la fréquence de la sclérotinite (fig. 52d)

La quasi-totalité des houilles renferme entre 0 et 0.2 % de sclérotinite, ce qui revient à dire qu'au cours des analyses on a rarement l'occasion de la rencontrer. Ce macéral accessoire, rappelons-le, présente toutefois un certain intérêt stratigraphique. Il ne peut cependant pas être considéré comme caractéristique d'une houille.

8. Etude de la fréquence des tissus ligneux

Les figures 53a et 53b représentent les courbes de fréquence de la semi fusinite et de la fusinite dans les combustibles.

Le mode de la courbe de fréquence de la semi fusinite est égal à 7 %. Il existe un deuxième pic à 3 %. Il faut également remarquer que la base de la courbe est assez largement étalée puisque les teneurs en semi-fusinite oscillent entre 0 et 29 %.

Les pourcentages de fusinite sont compris entre 0 et 13 %. Le mode est égal à 3 %. Il correspond au tiers des houilles étudiées.

En définitive, parmi les macéraux on peut distinguer :

- ceux qui par leur pourcentage infime dans les houilles ne peuvent intervenir dans la recherche d'une classification. Ce sont la télinite, la cutinite, la résinite et la sclérotinite,

- ceux qui par leur fréquence dans les combustibles pourraient jouer un rôle déterminant dans la recherche de types. Ce sont la collinite, la sporinite, la micrinite, la semifusinite et la fusinite. Or, apparemment aucun d'eux n'est caractéristique car toutes les courbes sont quasiment unimodales. Il convient parmi eux de distinguer le ciment (collinite) des corps figurés. Parmi les corps figurés, les plus importants sont ceux qui présentent une courbe de fréquence ayant la base la plus large c'est-à-dire la sporinite, la micrinite fine et la semi fusinite. Cependant aucun d'eux ne joue un rôle déterminant en raison même de l'allure très anguleuse de la courbe de Gauss.

Ces observations n'ayant pas donné les résultats escomptés, j'ai confié mes nombreuses mesures à l'ordinateur. Ces recherches particulières ont corroboré les observations faites lors de l'étude des variations verticales et latérales des veines.

Les analyses macérales quantitatives ont fait l'objet d'une méthode d'investigation particulière dont le principe peut être résumé de la façon suivante : on répartit, selon leurs valeurs numériques, les macéraux dans un espace à dix dimensions. Le travail essentiel consiste alors à analyser la distribution des points dans cet espace et à mettre en évidence des nuages de points agglomérés. Pour cela, on quadrille l'espace considéré à l'aide d'une grille à maille variable. On réduit progressivement la taille de la maille et à chaque opération on élimine les portions d'espace ne contenant pas de points. Pour les charbons du bassin du Nord et du Pas-de-Calais les résultats ont été surprenants. Pour une taille donnée de la maille de la grille d'analyse, la quasi-totalité des échantillons appartient au même type. Seuls font exception quelques houilles fortement cendreuses que l'ordinateur a, de lui-même, extraites du grand nombre d'échantillons analysés. Pour la taille de maille de la grille immédiatement inférieure, chaque échantillon constitue à lui seul un type ce qui revient à dire que tous les charbons des veines voisines du Tonstein Patrice appartiennent à la même catégorie pétrographique. Les différences chimiques observées dans les charbons étudiés résultent, rappelons-le, de phénomènes de houillification préorogénique en partie accusés par les effets de la loi de Hilt appliqués à ces veines portées par la tectonique à des profondeurs plus importantes. Finalement le moyen d'exhumer la structure vraie des charbons les plus évolués conditionne la possibilité d'en faire une classification pétrographique exacte. Le pouvoir réflecteur ou les moyens chimiques utilisés permettent de préciser le rang dont l'acquisition résulte de bien des vicissitudes.

VI . CONCLUSIONS DU CHAPITRE DEUXIEME

1° - Dans ce chapitre consacré à la détermination du rang, j'ai pu établir les relations existant, pour les houilles étudiées, entre la composition macérale originelle, les indices de gonflement, les teneurs en matières volatiles, les valeurs de la microdureté Vickers et du pouvoir réflecteur de la collinite.

2° - J'ai précisé dans quelle mesure la composition macérale originelle est responsable de la différenciation primitive des houilles.

3° - Les valeurs des indices de gonflement reflètent la somme des conditions et des mécanismes physico-chimiques régnant au moment du dépôt et pendant la diagenèse précoce des houilles.

4° - La mesure fine du pouvoir réflecteur de ces houilles a permis la détermination précise de leur rang. J'ai pu montrer, en comparant les différents résultats obtenus, quels étaient les facteurs influençant le rang.

5° - L'accumulation des dépôts phytogènes sous des lames d'eau d'épaisseur variable présentant un état d'agitation plus ou moins grand, n'a pas été, dans le cas des houilles étudiées, un facteur déterminant de leur différenciation.

6° - Les différents types chimiques résultent plus de diagenèses pré et post-orogéniques que de la nature des substances végétales dissoutes et des corps figurés. Le rang et la classification pétrographique ne se superposent donc pas dans tous les cas.

7° - Le rang d'un combustible est susceptible d'une évolution de plus en plus poussée selon les conditions d'enfouissement qu'il subit. L'orogénèse n'a un rôle important que dans la mesure où elle place le charbon dans des conditions nouvelles de température et de pression, mais on ne peut saisir de fluctuations de détail qui lui soit imputable. Le temps et la température apparaissent comme les causes principales des phénomènes de la houillification et de son intensité.

CONCLUSIONS GENERALES

Une étude pétrographique quantitative de veines de houilles superposées et bien "correlées" dans le bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais n'avait pas encore été réalisée. Les méthodes modernes utilisées ont fourni de nombreux résultats qui, pour l'horizon étudié, permettent de préciser l'aspect et l'origine de certains macéraux, la distribution des composants dans la lagune houillère, leurs conditions de dépôt et les phénomènes de houillification subis par les accumulations phytogènes qu'elles engendrent.

Dans une première partie, j'ai été amené à effectuer un certain nombre de choix tant dans le cadre géologique que dans celui des nomenclatures et de la méthodologie. Le stade atteint par l'exploitation permettait d'effectuer un très grand nombre d'échantillonnages au niveau du Tonstein Patrice. Ce type de niveau constitue dans un bassin houiller un indicateur chronologique supérieur à n'importe quelle passée marine. La position géométrique exacte des veines dans les différentes unités tectoniques et la connaissance parfaite de leur environnement pétrographique devait en effet constituer la base solide indispensable à cette étude.

J'ai adopté le système de nomenclature Stopes-Heerlen et j'ai procédé à des analyses macérales qualitatives et quantitatives des dépôts.

L'ETUDE QUALITATIVE DES MACERAUX a permis de mettre en évidence les faits suivants :

1° - l'hétérocollinite ne représente pas un macéral mais plutôt un charbon minéral ou un microlithotype.

2° - du point de vue génétique il convient de rattacher la télinite à l'inertinite.

- 3° - certaines spores qui sont par leur nature des matériels très résistants au phénomène de houillification pourraient avoir subi une certaine évolution avant leur sédimentation.
- 4° - L'aspect présenté par certaines cuticules en coupe transversale permet de penser que les phénomènes de compaction n'ont pas toujours eu l'amplitude qu'on leur attribue généralement.
- 5° - La micrinite fine résulte non seulement de la pulvérisation de membranes secondaires de tracheïdes, mais encore de la désagrégation et de l'émièttement de tissus rapportés à du sclérenchyme.
- 6° - La relation génétique entre la micrinite fine et les spores est apparente et cette association macérale, lorsqu'elle existe, relève probablement d'attraction mutuelle due à des tensions superficielles.
- 7° - La micrinite massive montre parfois un aspect émoussé et dans ce cas, elle constitue une véritable "microbrèche".
- 8° - La distinction entre la pâte originellement amorphe et la semifusinite très gélifiée est souvent plus aisée si l'on tient compte de l'environnement pétrographique.

La deuxième partie est consacrée aux analyses macérales quantitatives d'une part, et à la détermination du rang des houilles d'autre part.

LES ANALYSES MACÉRALES QUANTITATIVES ET LEURS RESULTATS.

En dépit de certaines difficultés à reconnaître les macéraux, et par souci d'objectivité lors des analyses, j'ai procédé à une vérification minutieuse de la méthode du comptage par points qui n'avait jusqu' alors pas été appliquée aux houilles du bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Les résultats obtenus sont précis et exploitables à condition d'observer certaines règles de comptage liées au mode particulier de fabrication des échantillons. L'évaluation, à partir d'une analyse particulière, du nombre de points à compter et de leur espacement a permis de montrer que, dans certains cas, les résultats sont acquis après un comptage de 350 points.

La méthode des 500 points constitue donc une technique prudente offrant une marge de sécurité importante.

D'une manière générale, l'étude d'un pilier complet de veine est préférable à celle d'un échantillon moyen de la même veine car elle permet d'obtenir des résultats de détail intéressants. Cependant, j'ai montré que la moyenne arithmétique des résultats de dix comptages partiels est tout à fait comparable au résultat du comptage sur un échantillon moyen.

LES COMPOSITIONS MACERALES DES VEINES ETUDIEES

LES HOUILLES VOISINES DU TONSTEIN PATRICE

La composition de ces combustibles en groupes de macéraux est particulièrement homogène.

Les variations verticales de la composition en vitrinite, exinite et inertinite accusent une allure pulsée.

Cet aspect particulier de la sédimentation phytogène a été observée dans la majeure partie du bassin.

Les horizons présentant des proportions élevées de corps figurés semblent progresser à la manière d'une onde de l'Est vers l'Ouest en montant dans la série stratigraphique.

Cette polarité s'estompe dans la région occidentale. En effet, là, les dépôts phytogènes présentent un autre faciès qui masque ce phénomène particulier.

Des courants est-ouest combinés à une alimentation en corps figurés plus ou moins grande résultant de l'exubérance plus ou moins importante de la forêt nourricière peuvent être tenus pour responsables de l'allure pulsée des dépôts.

Les compositions macérales des veines étudiées varient assez peu. Toutefois, j'ai mis en évidence deux types de dépôts que j'ai caractérisés par leur teneur relative en macéraux et par les rapports entre leurs composants principaux.

La comparaison des proportions respectives de fusinite et de semifusinite des houilles des veines Rosalie, Amélie et Rufine, ou de leurs homologues a permis de constater le fait suivant :

A partir de la région centrale du bassin et au fur et à mesure que l'on monte dans la série stratigraphique, il y a une extension progressive des aires où les dépôts phytogènes présentent des pourcentages de fusinite supérieurs à ceux de semifusinite. En raison de l'allure de ce phénomène (la valeur respective des densités de la fusinite (1.5) et de la semifusinite (densité inférieure à 1.5 et généralement égale à 1.4) ne pouvant être prise en considération), il apparaît que cette répartition doit être rattachée encore à l'action de courants provenant du bord sud du bassin. Ces courants d'abord Sud-Nord puis divergents vers l'Est et vers l'Ouest, sont responsables de l'égale distribution des macéraux et de l'homogénéité du faciès des veines.

LES VEINES JEANNE ET EMILIE DU GROUPE DE LENS-LIEVIN

Les variations verticales des teneurs en groupes de macéraux sont généralement progressives et elles affectent latéralement une grande étendue de la lagune.

L'étude des rapports entre les macéraux principaux n'a pas révélé de variations importantes. Ces veines présentent une assez grande homogénéité de faciès dans la majeure partie du groupe de Lens-Liévin.

LES VEINES DE HOUILLES RENCONTREES DANS LE SONDRAGE LOOS 5

J'ai constaté sur une verticale en un point particulier du groupe de Lens-Liévin, une remarquable constance des compositions macérales de ces combustibles westphaliens qui pourtant ne sont pas tous de même rang.

LA DETERMINATION DU RANG DES HOUILLES

Pour déterminer le rang, j'ai utilisé la microdureté Vickers, la valeur des indices de gonflement, la teneur en matières volatiles et la valeur du pouvoir réflecteur.

J'ai établi, pour les houilles du bassin du Nord et du Pas-de-Calais, la courbe de variation de la microdureté Vickers en fonction des teneurs en matières volatiles. J'ai montré que ce paramètre, qui peut prendre la même valeur pour des houilles très différentes, n'est pas significatif du rang des combustibles étudiés. Toutefois, il permet de suivre les variations des phénomènes de houillification affectant les charbons appartenant à la même catégorie chimique. A ce sujet, j'ai mis en évidence, à propos de l'étude des veines Jeanne et Emilie, une bonne concordance entre les modifications des teneurs en matières volatiles et celles de la microdureté d'une part, et les variations de la profondeur à laquelle ces veines ont été portées par l'orogénèse d'autre part. Certaines dépendances entre la valeur de la microdureté et celle de la taille des particules et de leur arrangement en cristallites permettent de rattacher la microdureté Vickers à la structure des houilles qui précisément évolue avec le rang. Par ailleurs, la comparaison des valeurs de la microdureté Vickers et des valeurs du pouvoir réflecteur de la collinite de ces mêmes veines a montré que ces deux paramètres présentaient peu d'affinités. Il apparaît ainsi que toutes les transformations subies par un combustible ne sont pas rigoureusement révélées par l'étude de sa microdureté Vickers.

Des recherches sur ordinateur effectuées au Laboratoire de Calcul de la Faculté des Sciences de Lille ont montré que les indices de gonflement, les teneurs en matières volatiles et les valeurs du pouvoir réflecteur n'étaient que partiellement liés aux compositions macérales originelles des houilles étudiées.

L'indice de gonflement est un paramètre peu "corrélé" avec le rang (teneurs en matières volatiles, pouvoir réflecteur) et les compositions macérales. En outre, l'étude des veines Jeanne et Emilie a montré que l'indice de gonflement de ces combustibles à composition macérale homogène était totalement indépendant de la profondeur à laquelle ces charbons ont été enfouis. Il est donc démontré que l'indice de gonflement doit refléter une somme de conditions et de mécanismes préorogéniques d'ordre physico-chimiques.

Le pouvoir réflecteur et les teneurs en matières volatiles

des houilles sont très fortement liés entre eux. Ils sont influencés, dans les houilles de bas rang, par les compositions macérales originelles et les phénomènes de carbonification biochimique. Ce processus de houillification et la sédimentation sont des phénomènes quasi-simultanés. L'évolution de certains macéraux tels que la sporinite, la télinite et la semifusinite, pourrait même parfois se produire avant la sédimentation.

J'ai montré, à propos des veines Jeanne et Emilie présentant, rappelons-le, des compositions macérales fort semblables, que leurs courbes isovolatiles étaient totalement indépendantes de la profondeur à laquelle l'orogénèse les avait portées. Cette évolution n'est pas, ici, conforme à la "loi de Hilt". Il était nécessaire de s'attacher à la recherche systématique des valeurs du pouvoir réflecteur des houilles. J'ai étudié les variations des valeurs de ce paramètre dans un échantillon en m'intéressant plus particulièrement à la mesure du pouvoir réflecteur de houilles anisotropes. J'ai montré que les différences entre la valeur déterminée graphiquement (sur les réflectogrammes par l'abscisse du mode) et la valeur calculée, tant pour le pouvoir réflecteur usuel que pour le pouvoir réflecteur maximal, étaient toujours du même ordre de grandeur et comprises entre 0.02 et 0.03 %. J'ai aussi suivi les modifications des écarts-types et des coefficients de variation en fonction du rang. Lorsque le rang s'élève, c'est-à-dire quand le pouvoir réflecteur croît, les écarts-types et les coefficients de variation augmentent.

J'ai suivi les variations verticales du pouvoir réflecteur dans l'épaisseur des veines. Les valeurs maximales ou minimales du pouvoir réflecteur ne sont pas liées à un point précis de la veine (mur ou toit). Par ailleurs, le pouvoir réflecteur traduit avec le plus de précision les phénomènes de houillification. J'ai tenté de dégager grâce à l'utilisation de ce paramètre les causes profondes de ces transformations ainsi que le moment où elles se sont produites.

L'étude des houilles rencontrées dans le sondage Loos 5 a permis de mettre en évidence au passage d'une unité tectonique à une autre un "glissement" des réflectogrammes d'une part, et des "sautes" brutales des indices de gonflement d'autre part. Les valeurs de ces deux paramètres sont donc acquises avant les phénomènes tectoniques paroxysmaux, et l'évolution subie ultérieurement a dû être parallèle tout en conservant les différences originelles. Par ailleurs, les variations des indices de gonflement sont moins influencées par la composition macérale que ne le sont celles des valeurs du pouvoir réflecteur. La composition macérale des veines de ce sondage - rappelons-le - est quasi-constante et ne peut donc expliquer les fluctuations observées. La comparaison des indices de gonflement et du pouvoir réflecteur a montré que ces deux paramètres ne sont que peu liés entre eux. Dans ces conditions, si l'on admet - comme cela a été démontré pour les veines Jeanne et Emilie - que l'indice de gonflement reflète une somme de conditions et de mécanismes préorogéniques d'ordre physico-chimiques, on doit attribuer à l'âge et (ou) à l'enfouissement un rôle déterminant dans l'acquisition du rang de ces combustibles.

La comparaison des valeurs du pouvoir réflecteur des veines voisines du Tonstein Patrice et des veines Jeanne et Emilie a permis de préciser les rôles respectifs des différents mécanismes de la houillification. L'étude d'horizons bien "correlés" présentant des compositions macérales voisines et situées dans les mêmes unités tectoniques a montré qu'un enfouissement rapide des dépôts phytogènes provoque déjà une transformation importante avant l'orogénèse. La subsidence est donc un facteur essentiel de la différenciation des types de houilles.

L'orogénèse a très profondément bouleversé la disposition géométrique des sédiments. Simultanément, le gradient géothermique est modifié. Des houilles, appartenant souvent à la même veine ont, en certains points, été portées à des profondeurs plus grandes alors qu'ailleurs elles étaient rehaussées. Les processus de houillification déclenchés avant l'orogénèse se poursuivent avec des intensités différentes pour les unes et pour les autres.

Dès lors, on comprend mieux la répartition générale nord-sud des combustibles dans le bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Les charbons les plus septentrionaux déposés les premiers ont subi pendant les temps carbonifères l'enfouissement le plus important. Ils ont été à cette époque les plus houillifiés, et la recarbonification post-orogénique qui s'est exercée sur toutes les houilles du bassin depuis cette période n'a pu, en dépit de l'orogénèse, effacer totalement cette évolution primitive.

Ainsi, la distribution des houilles résulte plus de leur carbonification géochimique que du classement mécanique des macéraux à partir d'une marge continentale dont les contours étaient par ailleurs éminemment changeants.

Ainsi, une étude pétrographique détaillée permet de préciser les rôles des différents processus de la carbonification. Ces processus appartiennent, rappelons-le, à deux grands ensembles :

- la diagenèse biochimique essentiellement liée à la nature originelle des dépôts dont l'analyse macérale restitue la composition ; l'indice de gonflement reflétant, lui, la somme des conditions et des mécanismes physico-chimiques régnant dans cette première étape,

- la carbonification géochimique s'effectuant au cours des temps géologiques. La connaissance exacte des gisements et l'étude des teneurs en matières volatiles et des valeurs du pouvoir réflecteur des houilles permettent d'en préciser les étapes successives. La houillification pré-orogénique et la rehouillification post-orogénique constituent deux stades successifs d'une évolution continue en fonction de la profondeur d'enfouissement.

En réalité, ces mécanismes sont extrêmement complexes car la sédimentation, la subsidence et l'orogénèse sont des phénomènes comexes et les rôles respectifs de ces processus fondamentaux n'ont pu être mis en évidence qu'en effectuant une sélection des paramètres et en procédant par éliminations successives.

L I S T E B I B L I O G R A P H I Q U E

- ABRAMSKI C., MACKOWSKY M.Th., MANTEL W. et STACH E. (1951).- Atlas für angewandte Steinkohlenpetrographie. Verlag Glückauf, G.M.B.H., Essen.
- ALPERN B. (1953).- Etude microscopique quantitative et représentation graphique de la structure cellulaire de quelques cokes. Cong. Ass. Techn. Ind. Gaz en France, p. 942-963, 8 tabl., 7 pl.
- ALPERN B. (1954a).- L'analyse pétrographique des charbons et ses relations avec la cokéfaction. Rev. Ind. Min., n° 593, p. 359-373, 3 tabl., 3 pl.
- ALPERN B. (1954b).- Sur quelques propriétés chimiques et cokéfiantes des constituants pétrographiques élémentaires du charbon. C. R. du 27e Congrès Int. de Chimie Industr., vol. II, 9-12, Bruxelles.
- ALPERN B. et NOMARSKI G. (1954).- Contribution à l'amélioration des méthodes d'examen microscopique et de classification des charbons. Bull. Soc. franç. Minér. Crist., t. LXXVII, p. 905-938, 6 fig., 3 tabl., 7 pl.
- ALPERN B. (1955).- L'analyse pétrographique des charbons en couche. Nomenclature et appareillage utilisés. Proceed. Intern. Comm. Coal. Petrology, n° 2, p. 35-36, Liège.
- ALPERN B. (1956a).- Die Anisotropie der Kokse als Kriterium für ihre Beurteilung und Klassifizierung. Brennstoff-Chemie, Nr. 13/14, Bd. 37, S. 194-198, Essen.
- ALPERN B. (1956b).- Propriétés physico-chimiques et cokéfiantes des macéraux de quelques charbons en fonction de leur degré de houillification. Rev. Ind. Minér., vol. 38, p. 170-181.

- ALPERN B. (1956c).-Microdureté des charbons et des cokes en fonction du degré de houillification. C. R. Ac. Sc., t 242, n° 5, 30 janv., p. 653-656, Paris.
- ALPERN B. et PREGERMAIN S. (1956).- Application du microscope électronique à l'étude de la constitution des houilles. Bull. Microscopie. Appl., [2], t. 6, n° 1, 4 fig. 6 pl.
- ALPERN B. et QUESSON A. (1956).- Etude par autoradiographie de la répartition des cendres de charbons activés. Bull. Soc. franç. Minér. Crist., t. LXXIX, p. 449-463.
- ALPERN B. et CHAUVIN R. (1958).- Application des méthodes de la microscopie par réflexion à l'étude de la combustion des boulets. Rev. Ind. Min., n° Spéc. 15 juillet 1958, p. 210-218, 22 fig.
- ALPERN B. (1959).- Contribution à l'étude palynologique et pétrographique des charbons français. Contribution aux méthodes et à la systématique palynologiques et pétrographiques des charbons. Application aux problèmes de la corrélation des couches. Thèse, Paris.
- ALPERN B. (1960).- Rapport d'activité de la Commission internationale de nomenclature pétrographique des charbons. Proceed. Intern. Comm. for coal Petrology, n° 3, 10 fig., 1 pl., C.N.R.S., Paris.
- ALPERN B. (1961a).- Etude microscopique du mode de combustion des houilles. C.E.R.C.H.A.R., Doc. Int. n° 1135, 30 fig., Verneuil-en-Halatte.
- ALPERN B. (1961b).- Mikroskopische Untersuchung der Art der Verbrennung von reinen und aschehaltigen Bestandteilen von Kohlen. Brennstoff-Chemie, Nr. 8, Bd. 42, S. 254-261, Bd. 30, Sch. 3, Essen.
- ALPERN B. (1963).- Fissuration - Fragilité. C.E.R.C.H.A.R., Publ. n° 1334, 11 fig., Verneuil-en-Halatte.
- ALPERN B. et BUSSO R. (1963).- Identification rapide et automatisable du rang des charbons par mesurage de leur réflectance globale. C.E.R.C.H.A.R., Doc. Int. n° 1315, 24 fig., Verneuil-en-Halatte.

- ALPERN B. (1964).- Un exemple intéressant de houillification dans le bassin lorrain et ses prolongements. C.E.R.C.H.A.R., Doc. Int., n° 1492, 18 fig., 19 pag., Verneuil-en-Halatte.
- ALPERN B. (1965).- Application de la microsonde électronique à l'étude des cendres volantes et des minéraux des charbons. C.E.R.C.H.A.R., Doc. Int., n° 1562, 1 fig., 30 photographies, Verneuil-en-Halatte.
- ALPERN B., LIABEUF J.J. et NAVALE G.K.B. (1965).- Relations entre les séquences palynologiques et pétrographiques dans les couches de houille. C.E.R.C.H.A.R., Doc. Int., n° 1540, 11 fig., Verneuil-en-Halatte.
- ALPERN B. et PREGERMAIN S. (1965).- La micrinite fine. Etude en microscopie électronique. C. R. Ac. Sc., t. 261, p. 2693-2694, 2 pl., Paris.
- ALPERN B. (1966).- Etude de la fusibilité de l'inertinite. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXVI, p. 225-230, 3 fig., 2 tabl., 8 pl., Lille.
- ALPERN B. (1967a).- Quelques applications géologiques du pouvoir réflecteur des charbons. C.E.R.C.H.A.R., Doc. Int., n° 1768, 13 fig., 2 pl., 22 p. Verneuil-en-Halatte.
- ALPERN B. (1967b).- Tectonique et gisement du gaz dans les bassins houillers. Etude bibliographique et exemple d'application. Publ. C.E.R.C.H.A.R., n° 1779, F 310, p. 687-693, 11 pl., 12 fig., Verneuil-en-Halatte.
- ALPERN B. (1969).- Pouvoir réflecteur de charbons français. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXX IX (à l'impression).
- AMMOSOV I.L. et MUSYAL S.A. (1952).- Reflecting power as one of the main properties of fossil coals. Dokl. Akad. Nauk., U.S.S.R., V. 84, p. 1223-1226.
- AMMOSOV I.L., EREMIN I.V. et BABASHKIN B.G. (1954).- Utilisation of petrographic characteristics of coals for compounding coking charges. I.G.I. Akad. Nauk., U.R.S.S.

- AMMOISOV I.L., EREMIN I.V., SUKHENKO S.I., et OSHURKOVA L.S. (1957).- Calculation of coking charges on the basis of petrographic characteristics of coals. Koks i Khimiya, n° 12, p. 9-12.
- ANCION Ch., NOEL R. et STASSEN P. (1956).- Galets de charbon en connexion avec un wash-out au charbonnage Cockerill à Seraing. Ann. Soc. géol. Belgique, t. LXXIX, p. B 237-245, 1 fig., 2 pl., Liège.
- AUBOUIN J. (1961).- Propos sur les géosynclinaux. Bull. Soc. géol. Fr. (7), III, p. 629-711, 16 fig., Paris.
- BANGHAM D.H. et BERKOWITZ N. (1947).- La déformation plastique et l'adhésion mutuelle des fines particules de charbon. (The plastic deformation and mutual adhesion of fine coal particles). Research, G.B. (nov 1947) 1, 86-93.
- BARROIS Ch. (1901).- Observations sur le poudingue houiller de Noeux (Pas-de-Calais). Ann. Soc. géol. Nord, t. XXX, p. 26-36, Lille.
- BARROIS Ch. (1907).- Etude de galets trouvés dans le charbon d'Aniche (Nord). Ann. Soc. géol. Nord, t. XXXVI, p. 248-330, 20 fig., Lille.
- BARROIS Ch. (1908a).- Observations sur une brèche du terrain houiller d'Ostricourt. Ann. Soc. géol. Nord, t. XXXVII, p. 41-50, 1 fig., Lille.
- BARROIS Ch. (1908b).- Observations sur des galets de Cannel-coal du terrain houiller de Bruay. Ann. Soc. géol. Nord, t. XXXVII, p. 3-12, Lille.
- BARROIS Ch. (1910).- Observations sur le poudingue recouvrant la veine Edouard de Lens. Ann. Soc. géol. Nord, t. XXXIX, p. 310-323, Lille.
- BARROIS Ch., BERTRAND P. et PRUVOST P. (1930).- Le conglomérat houiller de Roucourt. Congr. Intern. Mines, 6e session, p. 147-158, Liège.
- BENES K. (1959).- Die quantitative mineralogische Härtebestimmung an Steinkohlen. Freiberger Forsch. H., C, 50, p. 106-111, Deutsch.

- BENES K. et KRAUSSOVA J. (1964).- Carboniferous fossil fungi from the Upper Silesian Basin (Ostrava-Karvina Coal District). Sbornik Geol. Ved., Paleontologie, rada P, sv. 4.
- BEREK M. (1930).- Das Problem der quantitativen Mikroskopie, der Erzminerale und seine Lösung. Zugleich ein Beitrag zu den Erscheinungen der Reflexion des Lichts an anisotropen absorbierenden Kristallen. Zeitschr. Kristallogr., LXXVI, S. 396-430, Leipzig.
- BEREK M. (1931).- Das Problem der quantitativen Mikroskopie, der Erzminerale und seine Lösung. Zugleich ein Beitrag zu den Erscheinungen der Reflexion des Lichts an anisotropen absorbierenden Kristallen. Zeitschr. Kristallogr., LXXVII, S. 1-22, Leipzig.
- BERSIER A. (1958).- Séquences détritiques et divagations fluviales. Ecl. géol. Helv., 51, n° 3, p. 854-893, 11 fig., 5e Congr. Intern. Sédimentologie.
- BEUGNIES A. (1963).- Essai d'interprétation géodynamique du magmatisme de l'Ardenne. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXIII, p. 171-193, 7 fig., 1 pl., Lille.
- BISCOE J. et WARREN B.E. (1942).- An X - ray study of carbon black. J. Appl. Phys., 13, p. 364-371, 9 fig., New-York.
- BLAYDEN H.E., GIBSON J. et RILEY H.L. (1944).- An X - ray study of the structure of coals, cokes and chars. Proc. Conf. Ultrafine struct. Coals Cokes, p. 176-231, London.
- BOUROZ A. (1940).- Faciès et massifs de végétation dans la formation houillère du Nord de la France. Application aux travaux de recherche miniers. Thèse, n° 22, 238 p., 81 pl., 10 fig., Imp. Douriez-Bataille, Lille.
- BOUROZ A. (1947).- Quelques précisions sur le gisement du Groupe de Béthune des Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Ann. Soc. géol. Nord., t. LXVII, 7 fig. h.t., Pl. VII à XII, p. 165-182, Lille.

- BOUROZ A. (1948a).- La structure du Bassin houiller du Pas-de-Calais à l'Ouest du Méridien de Lens. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXVIII, p. 93-105, 6 fig., 6 pl., Lille.
- BOUROZ A. (1948b).- Sur la faille limite dans le Houiller du Pas-de-Calais. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXVIII, p. 179-185, 2 pl., 1 fig., Lille.
- BOUROZ A. (1948c).- Faille limite, faille d'Auby et faille Barrois : une hypothèse sur ce que devient le synclinal de Dorignies vers l'Ouest. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXVIII, p. 185-193, 6 pl., Lille.
- BOUROZ A. (1950a).- Les bases de l'étude géologique d'un gisement houiller. Stage géologique de perfectionnement organisé par les Charbonnages de France, Lille 12-24 juin 1950, 16 pages.
- BOUROZ A. (1950b).- Sur quelques aspects du mécanisme de la déformation tectonique dans le bassin houiller du Nord de la France. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXX, p. 2-55, 12 pl., 14 fig., Lille.
- BOUROZ A., CHALARD J. et STIEVENARD M. (1951).- Sur les relations tectoniques des bassins de Valenciennes et du couchant de Mons. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXI, p. 58-79, 5 fig., 4 pl., Lille.
- BOUROZ A., CHALARD J. et DOLLE P. (1953).- Extension géographique et valeur stratigraphique des niveaux de Tonstein du bassin houiller du Nord de la France. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXX III, p. 98-141, 11 fig., 2 pl., Lille.
- BOUROZ A. (1954).- Contribution à l'étude du Namurien du Bassin Houiller du Pas-de-Calais. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXIV, p. 137-160, Pl. V-XV, Lille.
- BOUROZ A. (1956).- Contribution à l'étude des failles épicrotécées de l'Artois. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXVI, p. 51-62, 3 fig., 3 pl., Lille.
- BOUROZ A. (1957).- Valeur de l'indice de gonflement de la houille comme paramètre d'étude du terrain houiller. Ann. Soc. éol. Nord, t. LXXVII, p. 264-267, 1 fig., Lille.

- BOUROZ A. (1958).- La sédimentation des séries houillères dans leur contexte paléogéographique. C. R. 4e Congr. Str. Carb., Heerlen, pp. 65-78, Maestricht, 1960.
- BOUROZ A., DOLLE P. et PUIBARAUD G. (1958).- La série stratigraphique et les Tonstein du Westphalien C du Sud-Ouest de la concession de Noeux. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXVIII, 3 fig., Pl. IV, Lille.
- BOUROZ A. et STIEVENARD M. (1958).- La structure du gisement des charbons gras du Pas-de-Calais et la notion de faille Reumaux. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXVIII, p. 146-172, 7 fig., 2 pl., Lille.
- BOUROZ A. (1959).- Contribution à l'étude tectonique du massif de Denain - Crespin - Boussu. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXIX, p. 129-159, 2 pl., 8 fig., Lille.
- BOUROZ A. (1960a).- La structure du paléozoïque du Nord de la France au Sud de la grande faille du Midi. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXX, p. 101-112, 3 fig., 1 pl., Lille.
- BOUROZ A. (1960b).- Sur les subdivisions du terrain houiller du Nord de la France. C. R. Ac. Sc., t. 251, p. 2050-2052, Paris.
- BOUROZ A., CHALARD J., DALINVAL A. et STIEVENARD M. (1961).- La structure du bassin houiller du Nord de la région de Douai à la frontière belge. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXI, p. 173-220, 32 fig., 2 pl., Lille.
- BOUROZ A. (1962a).- Subsidence continue et discontinue dans le houiller. C. R. Ac. Sc., t. 254, p. 1116-1118, Paris.
- BOUROZ A. (1962b).- Sur la pluralité d'origine des Tonstein (A propos d'une cinérite oligocène du Japon). Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXII, p. 77-94, 2 fig., 6 pl., Lille.
- BOUROZ A. (1963a).- Carte des zones stratigraphiques à la cote - 300. Public. H.B.N.P.C., Carte dressée par le service des ressources et des études géologiques sous la direction de A. Bouroz.

- BOUROZ A. (1963b).- Le lecteur voudra bien se reporter à la référence Bouroz A. (1964).
- BOUROZ A. (1963c).- Présence d'un niveau kaolinique dans le Namurien marin de Picardie. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXVIII, p. 281-286, 1 fig., 2 pl., Lille.
- BOUROZ A. (1964).- Les composants pétrographiques principaux des schistes houillers et leur signification sédimentologique. 5e Congr. Intern. Strat. Géol. Carbonifère, t. 1, p. 289-305, 2 fig., 5 tabl., 3 pl., Paris.
- BOUROZ A., BUISINE M., CHALARD J., DALINVAL A. et DOLLE P. (1964).- Bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. C. R. 5e Congr. Intern. Strat. Géol. Carbonifère, t. I, p. 3-33, 20 fig., 3 pl. ph., Paris.
- BOUROZ A. (1966a).- Fréquence des manifestations volcaniques au Carbonifère supérieur en France. C. R. Ac. Sc., t. 263, p. 1025-1028, Paris.
- BOUROZ A. (1966b).- Beitrag zum Studium der Tonsteine cineritischen Ursprungs. Z. deutsch. Geol. Ges., Jg. 1965, Bd. 117, T. 1, S. 183-190, 2 Abb., 2 Tafeln, Hannover.
- BOUROZ A. (1967a).- Corrélations des Tonstein d'origine volcanique entre les bassins houillers de Sarre-Lorraine et du Nord- Pas-de-Calais. C. R. Ac. Sc., t. 264, p. 2729-2732, Paris.
- BOUROZ A. (1967b).- Réflexions sur l'apparente liaison Tonstein-couche de houille. 6e Congr. Int. Str. Carb. Sheffield (sous presse).
- BOUROZ A. (1968).- Corrélations entre quelques bassins stéphaniens du Massif Central par le moyen des niveaux cinéritiques. C. R. Ac. Sc., t. 266, p. 2219-2222, Paris.
- BOYER A.F., DURIF S. et ALPERN B. (1954).- Interactions physico-chimiques de deux charbons pendant leur carbonisation, C. R. Ac. Sc., t. 239, n° 25, p. 1791-1792, Paris.

- BROADBENT S.R. et SHAW A.J. (1955).- Reflectance of coal. Fuel, vol. XXXIV, n° 4, p. 385-403, 6 tabl., 9 fig., London.
- BROWN H.R., COOK A.C. and TAYLOR G.H. (1964).- Variations in the properties of vitrinite in Isometamorphic coal. Fuel, n° 2, p. 111-124, 7 fig., 2 tabl., London.
- BRUSSET H., DEVAUX J. et GUINIER A. (1943).- Etude de quelques charbons par la diffusion des Rayons X sous très petits angles. C. R. Ac. Sc., t. 216, p. 152-154, Paris.
- BRUSSET H. (1948).- Contribution à l'étude du carbone et des charbons minéraux. Thèse, 89 p., 14 fig., Paris.
- BRUSSET H. (1949).- L'aspect le plus récent des structures des charbons. Bulletin Soc. des Ingénieurs civils de France, Année 1949, fasc. 3 et 4, p. 32, Paris.
- BUISINE M. (1961).- Les Aléthoptéridées du Nord de la France. Et. géol. Atl. Top. sout., H.B.N.P.C., I.- Flore fossile, 4e fasc., Texte, pp. 1-317, Atlas, Pl. I-LXXIV.
- BURSTLEIN E. (1950).- La préparation pétrographique des charbons et son application à l'industrie de la distillation de la houille. Ass. Techn. Ind. Gaz en France, Congrès 1950, p. 1-6.
- BURSTLEIN E. (1954).- La préparation sélective et pétrographique des charbons en vue de leur cokéfaction. Chaleur et Industrie, p. 3-37, 30 fig., Paris.
- BUSSO R. and ALPERN B. (1963).- A new method, capable of automation, for the rapid classification of coals based on the relation of total reflectance power to coke quality. Am. Chem. Society, 145th National meeting, vol. 7, n°2.
- CADY G.H. (1958).- Coal geology and the coal industry. Econ. Geol., vol. 53, n° 5, p. 511-520.

- CAPDECOMME L. (1943a).- Sur les procédés d'étude des roches charbonneuses, à propos des schistes graphitiques de la région de Marignac. Bull. Soc. Hist. nat. Toulouse, t. 78, n° 3, p. 181-190.
- CAPDECOMME L. (1943b).- Sur l'adaptation du microscope polarisant aux mesures photométriques. Réalisation d'un nouvel affaiblisseur. C. R. Ac. Sc., t. 217, p. 367-368, 18 oct. 1948, Paris.
- CAPDECOMME L. (1944).- Sur la présence et l'orientation du graphite dans les anthracites. C. R. Ac. Sc., 14 fév. 1944, t. 218, p. 285-287, Paris.
- CARETTE J., CAYEUX J., DANZE J., LAVEINE J.P., LE MERRER A. et VIGREUX S. (1960).- Les spores de l'assise de Bruay dans l'Ouest du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. Bull. Soc. géol. France, 7e série, t. II, p. 552-565, Paris.
- CARETTE J. (1962).- Corrélations palynologiques entre les groupes d'Auchel-Bruay et de Béthune-Noeux du bassin houiller du Nord de la France. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXII, p. 39-47, Lille.
- CHALARD J. (1945).- La faille de Vicoigne du terrain houiller du Nord de la France. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXV, p. 177-196, 2 fig., Lille.
- CHALARD J. (1946).- Faille Barrois et Cran de Retour dans le groupe de Valenciennes. Soc. géol. Belgique, t. LXXI, 1947-1948, fascicule spécial, juin 1948.
- CHALARD J. (1951a).- Les Tonstein du bassin houiller du Nord de la France dans la région de Valenciennes. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXI, p. 110-123, 2 fig., Pl. IX et X, Lille.
- CHALARD J. (1951b).- Niveaux repères caractéristiques dans le houiller inférieur du comble Nord à la fosse Agache. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXI, p. 155-171, 2 fig., pl. XII-XIII, Lille.
- CHALARD J. (1951c).- Tonstein à leverriérite dans le Houiller du Nord de la France. C. R. Ac. Sc., t. 232, p. 1502, Paris.

- CHALARD J. (1951d).- Tonstein du bassin houiller du Nord de la France. C. R. 3e Congr. Strat. Géol. Carbonifère, p. 73-78, fig. I : texte, fig. 1-12 : pl. 3, Heerlen.
- CHALARD J. (1960).- Contribution à l'étude du Namurien du bassin houiller du Nord de la France. Et. géol. Atl. top. sout., H.B.N.P.C., III.- Stratigraphie, 1er fasc., p. 1-299, pl. A-L, I-LXVI.
- CHALARD J. (1967).- Réflexions sur la définition et la genèse des Tonstein. (Application possible au calcul des temps de dépôt relatifs du charbon et des stériles). Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXVII, p. 87-93, Lille.
- CHANDRA D. et BOND R.L. (1956).- The reflectance of carbonised coals. Proc. Intern. Comm. Coal Petrology, n° 2, p. 47-51.
- CHANDRA D. (1958).- Reflectance of oxidized coals. Econ. Geol., vol. 53, n° 1, 3 tabl., 4 fig., p. 102-108.
- CHANDRA D. (1965a).- Reflectance of New Zealand coals. Econ. Geol. vol. 60, 4 fig., p. 1041-1045.
- CHANDRA D. (1965b).- Use of reflectance in evaluating temperature of Carbonized or thermally metamorphosed coals. Fuel, 44, 171-176, 4 fig.
- CHAUVIN R. (1960).- Etude expérimentale de la combustion des boulets. Rev. Ind. Min., vol. 42, n° 1, p. 53-65.
- CHAYES F. (1955).- A point counter based on Leitz mechanical stage. Amer. Min., 40, 126-127.
- CHAYES F. (1956).- Petrographic modal analysis. John Wiley, New-York, 113 p.
- C.I.P.C. (1963).- Lexique international de pétrographie des charbons du Comité international de pétrographie des charbons, 2me édit., C.N.R.S., Paris.
- COPPENS P.L. et NOEL R. (1954).- Quelques notes sur l'inclusion des préparations pétrologiques à l'aide de résine synthétique. Application à l'étude de la cokéfaction.

- COPPENS L., NOEL R. et VENTER J. (1955).- Etude pétrologique et ses applications. Première communication : Méthode de préparation, d'examen et d'analyse pétrologique des houilles. Application à l'étude d'une veine en exploitation. I.N.I.C.H.A.R., Bull. techn. Houille et Dérivés, n° 9, Août 1955.
- COPPENS P.L. (1967).- Synthèse des propriétés chimiques et physiques des houilles, I.N.I.C.H.A.R., D/1967/0951/2, Liège.
- COQUEL R. (1966).- Etude des microspores dans des stériles du Westphalien C inférieur. Corrélations palynologiques entre les groupes de Béthune-Noeux et d'Auchel-Bruay. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXVI, p. 15-33, Lille.
- CORRIEZ P. (1937).- Contribution à l'étude des variétés noires de carbone. 20 fig., 18 tabl., 3 pl., 130 p., Thèse, Paris.
- CORSIN P. (1962).- Caractéristiques paléobotaniques des faisceaux du terrain houiller du Nord de la France. C. R. Ac. Sc., t. 254, pp. 792-795, Paris.
- CORSIN P., BOUROZ A. et LAVEINE J.P. (1968).- Le stratotype du Westphalien C dans le bassin houiller du Nord- Pas-de-Calais. Limites et contenu paléontologique. C. R. Ac. Sc., t. 266, p. 455-460, Paris.
- DAHME A. et MACKOWSKY M.Th. (1950).- Chemisch-physikalische und petrographische Untersuchungen an Kohlen, Koksen und Graphiten. IV. Neues Messverfahren zur Bestimmung des Reflexionsvermögens von Kohlen. Brennstoff-Chemie, Bd 31, H. Nr. 9/10, p. 129-138, 10 tabl., 15 fig., Essen.
- DALINVAL A., STIEVENARD M. et TOURNAY G. (1952).- Une nouvelle hypothèse sur la structure du gisement houiller de la région Leforest-Ostricourt-Evin. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXII, p. 84-98, 2 pl., Lille.
- DALINVAL A. et STIEVENARD M. (1953).- Découverte du banc marin de Rimbert dans le synclinal de Dorignies à la fosse Notre-Dame du groupe de Douai. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXIII, p. 191-197, 2 pl., Lille.

- DALINVAL A. (1954).- Quelques niveaux repères dans le houiller inférieur du bord Nord du bassin au Siège Lemay. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXIV, p. 125-137, 2 fig., 2 pl., Lille.
- DALINVAL A. et DOLLE P. (1956).- Les Tonstein des assises de Vicoigne et d'Anzin. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXVI, p. 68-82, 3 fig., 3 pl., Lille.
- DALINVAL A. (1960).- Les Pecopteris du bassin houiller du Nord de la France. Et. géol. Atl. Top. sout., H.B.N.P.C., I.- Flore fossile, 3e fasc., p. 1-222, pl. I-LXI.
- DAMBERGER H., KNEUPER G., TEICHMÜLLER M. et TEICHMÜLLER R. (1964).- Das Inkohlungs- bild des Saarkarbons. Glückauf, Jg. 100, H. 4, S. 209-217, 9 Abb. Essen.
- DANZE J. (1956).- Les fougères sphénoptéridiennes du bassin houiller du Nord de la France. Et. géol. Atl. Top. sout., H.B.N.P.C., I.- Flore fossile, 2e fasc., Texte, p. 1-568, Atlas, pl. I-LXXXVI.
- DANZE-CORSIN P. (1953).- Les Mariopteris du Nord de la France. Et. Géol. Atl. Top. sout., H.B.N.P.C., I.- Flore fossile, 1er fasc., Texte, p. 1-269, Atlas, pl. I-LXXVIII.
- DAVIS A. et SPACKMAN W. (1964).- The role of the cellulosic and lignitic components of wood in artificial coalification. Fuel, vol. XLIII, p. 215-224, 2 tabl., 6 fig., London.
- DECLERCQ-LEFEBVRE B. (1965).- Corrélations palynologiques entre les groupes d'Auchel-Bruay et de Douai (Puits du Midi) des H.B.N.P.C. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXV, p. 123-128, Lille.
- DELATTRE Ch. et PRUVOST P. (1961).- L'oeuvre d'André Duparque (1892-1960). Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXI, p. 81-88, Lille.
- DELATTRE Ch. et MERIAUX E. (1964).- Microdureté Vickers de charbons du Bassin Houiller du Nord et du Pas-de-Calais. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXIV, p. 43-49, 3 fig., 1 tabl., Lille.

- DELATTRE Ch. et MERIAUX E. (1966).- Sur un aspect particulier et sur une origine de la micrinite fine. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXVI, p. 187-188, pl. XVII, Lille.
- DELEAU P. (1967).- De l'importance de l'échelle du phénomène érosion-transport et de la surface d'épandage dans le classement vertical et la disposition horizontale des sédiments pour les sédimentations rythmique et cyclique. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXVII, p. 171-177, Lille.
- DELESSE A. (1848).- Procédé mécanique pour déterminer la composition des roches. Ann. Mines, 13, p. 379-388, Paris.
- DELMER A. (1952).- La sédimentation cyclique et notamment la sédimentation houillère considérée comme un phénomène d'oscillations de relaxation auto-entretenues. C. R. 3e Congr. Str. Carb., Heerlen, 1951, Maestricht 1952.
- DIAMOND R. (1958).- A least-squares analysis of the diffuse X-ray scattering from carbons. Acta crystallogr. Danem., 11, n° 3, p. 129-138.
- DIAMOND R. (1960).- X-ray studies of some carbonised coals. Philos. Trans. roy. Soc. London, Ser. A, 252, n° 1008, p. 193-223, 34 réf. biblio., London.
- DOLLE P. (1954).- Tonstein de la partie supérieure de l'Assise de Bruay. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXIV, p. 39-52, 1 pl., Lille.
- DOLLE P. (1958).- Etude préliminaire sur les grès du Bassin Houiller du Nord-Pas-de-Calais. Eclogae geological Helvetiae, vol. 51, n° 3, p. 917-928.
- DOLLE P. (1962).- Hypothèse sur les relations entre les Tonstein et les micro-poudingues du Westphalien C du Bassin Nord-Pas-de-Calais. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXII, p. 95-102, 1 fig., 2 pl., Lille.
- DOLLE P. (1964).- Corrélations à l'aide de la granulométrie sur les lames minces dans certains grès du Houiller du Bassin Nord-Pas-de-Calais. 5e Congr. Intern. Strat. et Géol. Carbonifère, p. 341-357, 10 fig., 1 pl., Paris.

- DOLLE P. et LEGRAND F. (1966).- Quelques observations sur le Siluro-Dévonien charrié du Pas-de-Calais. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXVI, p. 143-151, 2 pl., Lille.
- DOLLE P. (1967).- Les grès à minéraux lourds du Houiller du Nord de la France. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXVII, p. 55-60, 1 pl., Lille.
- DUPARQUE A. (1926a).- Le rôle des tissus lignifiés dans la formation de la houille. Ann. Soc. géol. Nord, t. LI, p. 51-64, 2 fig. texte, 1 pl., Lille.
- DUPARQUE A. (1926b).- La composition chimique des substances végétales et des houilles. Le rôle des substances végétales dans la formation de la houille. Ann. Soc. géol. Nord, t. LI, p. 403-456, Lille.
- DUPARQUE A. (1927a).- Les charbons de cuticules du Bassin houiller du Nord de la France. Ann. Soc. géol. Nord, t. LII, p. 2-27, 12 fig., Lille.
- DUPARQUE A. (1927b).- Les corps résineux de la houille. Ann. Soc. géol. Nord, t. LII, p. 66-93, 6 fig., Lille.
- DUPARQUE A. (1927c).- Sur la nature exacte de corps figurés de la houille considérés autrefois comme corps résineux. Ann. Soc. géol. Nord, t. LII, p. 93-103, 2 fig., Lille.
- DUPARQUE A. (1927d).- La schistosité de la houille. Ann. Soc. géol. Nord, t. LII, p. 225-260, 4 pl., Lille.
- DUPARQUE A. (1927e).- Etude de la quatrième Veine et de la Veine Sainte-Barbe de la Compagnie des Mines de Noeux dans le voisinage d'étreintes. Ann. Soc. géol. Nord, t. LII, p. 212-225, 3 tabl., Lille.
- DUPARQUE A. (1928).- Le rôle des actions mécaniques dans l'évolution des couches de houille. Bull. Soc. géol. France, 4ème série, t. XXVIII, p. 455-491, 1 pl., Paris.

- DUPARQUE A. (1929).- Sur la structure et l'origine du Fusain. Le rôle des substances ligneuses dans la formation de la houille. Schriften aus dem Gebiet der Brennstoff Geologie. Heft 2, Fusit, Vorkommen, Entstehung und praktische Bedeutung der Faserkohle (fossile Holzkohle), p. 42-54, 3 fig., Ferdinand Enke Libraire, Stuttgart.
- DUPARQUE A. (1930).- Sur les clivages des houilles et des schistes. Ann. Soc. géol. Nord, t. LV, p. 161-189, Lille.
- DUPARQUE A. et FANSHAWE J. (1930).- La structure microscopique des anthracites. Remarques sur la préparation de surfaces polies d'anthracites américains et sur leur structure microscopique. Ann. Soc. géol. Nord, t. LV, p. 111-139, 2 pl., Lille.
- DUPARQUE A. (1931).- Sur la structure microscopique et l'origine des anthracites. C. R. Ac. Sc., t. 192, p. 1257-1259, Paris.
- DUPARQUE A. et DEFRETIN-LEFRANC S. (1931).- Sur la structure microscopique d'anthracites et de houilles anthraciteuses provenant des puits Ste-Henriette et N° 7 du Charbonnage de Mariemont-Bascoup (Belgique). Ann. Soc. géol. Nord, t. LVI, p. 135-161, 1 pl., 2 tabl., 2 fig., Lille.
- DUPARQUE A. (1932).- Remarques sur les rôles respectifs de la lignine et de la cellulose dans la genèse des charbons. Ann. Soc. géol. Nord, t. LVII, p. 182-187, Lille.
- DUPARQUE A. (1933).- Structure microscopique des charbons du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais. Mém. Soc. géol. Nord, t. XI, 131 fig., 45 tabl., 66 pl., 716 réf. biblio., Lille.
- DUPARQUE A. et MARET M. (1936).- Remarques sur le caractère des cuticules en sections horizontales. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXI, p. 205-213, 1 fig., 2 pl., Lille.

- DUPARQUE A. et MASSINON J. (1939).- Les substances amorphes et les pulpes végétales des houilles. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXIV, p. 39-57, 1 pl., Lille.
- DUPARQUE A. (1949a).- Sur l'emploi de la lumière polarisée dans l'examen microscopique des surfaces polies d'anhracites et sur la détermination des teneurs en tissus ligneux de ces combustibles. C. R. Ac. Sc., t.228, p. 1143-1145, Paris.
- DUPARQUE A. (1949b).- L'étude microscopique de certains anhracites en lumière incidente polarisée. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXIX, p. 103-126, 3 pl., Lille.
- DUPARQUE A. (1949c).- les substances amorphes des houilles et des anhracites. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXIX, p. 127-171, 2 pl., Lille.
- DUPARQUE A. (1949d).- Caractères pétrographiques d'un anhracite de Djerada (Maroc). Ann. Soc. géol. Nord, t. LXIX, p. 171-181, 2 pl., Lille.
- DUPARQUE A. (1949e).- Sur les houilles schisteuses et sur l'interstratification des houilles et des schistes dans certaines veines de charbon. Nouvelles remarques sur les caractères généraux de la sédimentation houillère. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXIX, p. 237-269, 2 pl., Lille.
- DUPARQUE A. (1949f).- Sur un anhracite alpin à cassure concentrique de la mine de la Benoîte (Briançonnais). Ann. Soc. géol. Nord, t. LXIX, p. 270-278, 1 pl., Lille.
- DUPARQUE A. (1949g).- Application de la lumière incidente polarisée à l'étude microscopique des substances amorphes de certains anhracites. Congrès de l'A.F.A.S., séance du 15 juillet 1949, Clermont.
- DUPARQUE A. (1951).- La question des constituants macroscopiques des houilles. Un précurseur : Henry Fayol. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXI, p. 9-40, Lille.
- DUPARQUE A. et DELATTRE Ch. (1954a).- Caractères microscopiques des sclérotés et spores de champignon des houilles et des anhracites. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXIII, p. 247-268, Lille.

- DUPARQUE A. et DELATTRE Ch. (1954b).- Sur la véritable nature des tissus (?) de champignons des houilles paléozoïques. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXIII, p. 269-275, Lille.
- DUPARQUE A. (1955).- Les différents types pétrographiques de houilles et d'an-thracites. Leur origine et leur mode de formation. C. R. Congr. Soc. Sav., p. 127-162, 5 pl., 10 fig., Lille.
- DUPARQUE A. et MORAND-JUDAS F. (1956a).- Répartition des sclérotés et corpuscules sclérotiformes dans les veines de houille du Nord et du Pas-de-Calais. Leur pluralité d'origine. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXVI, p. 116-130, Lille.
- DUPARQUE A. et JUDAS F. (1956b).- Les sclérotés l.s. de la Veine Beaumont de l'ancienne Concession de Liévin. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXVI, p. 131-147, 2 pl., Lille.
- DUPARQUE A. et JUDAS F. (1956c).- Les sclérotés l.s. de la Veine Saint-Constant de l'ancienne Concession de Noeux. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXVI, p. 147-153, 1 pl., Lille.
- DUPARQUE A. et JUDAS F. (1956d).- Les sclérotés l.s. de la Quatrième Veine de l'ancienne Concession de Noeux. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXVI, p. 153-160, 1 pl., Lille.
- DUPARQUE A. et JUDAS F. (1956e).- Les sclérotés l.s. de la Veine Sainte-Barbe de l'ancienne Concession de Noeux. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXVI, p. 161-171, 2 pl., Lille.
- DUPARQUE A. et JUDAS F. (1956f).- Les sclérotés l.s. de la Veine Désiré de l'ancienne Concession de Noeux. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXVI, p. 171-177, 1 pl., Lille.
- EREMIN I.V. (1959).- The petrographic characteristics of coals in relation to their use in coking industry : Trans., Fossil Fuel Inst., vol. VIII, Acad. Sci. URSS, p. 14-20.

- ERHART H. (1956).- La genèse des sols en tant que phénomène géologique. Masson et Cie, Paris.
- FABRE J. (1961).- Subsidence continue et dépôts houillers. C. R. Ac. Sc., t. 253, p. 2090-2092, Paris.
- FABRE J. et FEYS R. (1963).- Action de roches éruptives sur des charbons d'Afrique du Sud. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXIII, p. 31-36, 6 pl. h-t., Lille.
- FALGON R. (1952).- Application des tubes électroniques convertisseurs d'images à l'étude spectroscopique ou photométrique du proche infra-rouge. Ann. Univ. Lyon, 3e Série, Section B "Sciences physiques et chimiques", p. 5-44, Lyon.
- FAYOL H. (1887).- Etudes sur le terrain houiller de Commentry. Lithologie et stratigraphie. Bull. Soc. Ind. Min., Série 2, XV, 546 pages et un Atlas, Saint-Etienne.
- FENTON G.W., MARSHALL I.A. et SMITH A.H.V. (1958).- Application des principes de la pétrographie moderne des charbons à l'industrie de la houille. Colloque international de Pétrologie appliquée des charbons. Rev. Ind. Minér., n° sp. 15 juillet, p. 191-198, 2 fig., 4 tabl. discussions, Paris.
- FEYS R., GEFFROY J. et VETTER P. (1967).- Un cas nouveau de graphitisation du charbon par une intrusion éruptive à Cali (Colombie). Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXVII, p. 145-150, 4 fig., 5 pl. h-t., Lille.
- FOURMARIER P. (1932).- Observations sur l'estimation de l'importance du transport suivant le charriage du Condroz. Ann. Soc. géol. Belg., t. 56, p. 249, Liège.
- FRANCIS W. (1961).- Coal. Its formation and composition, 806 pages, 124 fig., Edward Arnold (Publishers) Ltd, 2nd Edit., London.
- FRANKLIN R.E. (1950a).- On the structure of carbon. J. Chim. phys. Phys-Chim. biol., Fr., 47, nos 5-6, 573-575, 3 fig., Colloque intern. combustion du C.

- FRANKLIN R.E. (1950b).- The interpretation of diffuse X-rays diagrams of carbon. Acta crystallogr., 3, n° 2, p. 107-121.
- FRANKLIN R.E. (1951a).- The structure of graphitic carbons. Acta crystallogr., 4, n° 3, p. 253-261, 1 pl. h.t.
- FRANKLIN R.E. (1951b).- Crystallite growth in graphitizing and non-graphitizing carbons. Proc. roy. Soc., Ser. A, 209, n° 1097, p. 196-218.
- GENY P. (1911).- Etude sur la distribution des teneurs en matières volatiles dans les veines de la concession de Courrières. Ann. Soc. géol. Nord, t. XL, p. 147-157, 3 pl., Lille.
- GILBERT L.A. (1960).- The reflectivity spectra of coal vitrains in the visible and the ultraviolet. Fuel, vol. XXXIX, p. 393-400, London.
- GLAGOLEV A.A. (1933).- Sur les méthodes géométriques d'analyse minéralogique quantitative des roches. Trans. Inst. Econ. Min. Moscow, vol. 59.
- GRAND'RY E. (1962).- Valorisation pratique des analyses de rang des charbons élémentaires et de leurs mélanges. Ann. des Mines Belgique, n° 11, p. 1107-1119, 11 fig., Liège.
- GRÜNER A. (1874).- Pouvoir calorifique et classification des houilles. Ann. des Mines, 7eme série, IV, p. 169-207, Paris.
- HACQUEBARD P.A. (1943).- Kolenpetrographische Studiën. Parallelisatie van de koollagen Merl, Mühlenbach, Steinknipp en Finefrau van het Nederlandsche mijngebied. Diss. Groningen en Geol. Stichting, Serie C-III-2, n°1, 19 tabl., 4 fig., 3 pl., 9 tabl. h.t., Maastricht.
- HACQUEBARD P.A. (1951).- The correlation, by petrographic Analyses, of No 5 Seam in the St. Rose and Chimney Corner Coalfields, Inverness County, Cape Breton Island, Nova Scotia. Geol. Survey of Canada, Bull. 19, Ottawa.

- HACQUEBARD P.A. (1952).- Opaque matter in coal. Econ. Geol., vol. 47, n° 5, p. 494-516, 6 pl., 1 fig., 3 tabl.
- HARRISON J.A. (1960).- Effect of high - carbon components and other additives on cokes. Ill. States Geol. Survey, Circ. 289, 30 p., 16 fig.
- HARRISON J.A. (1961).- Coal petrography applied to coking problems. Proceed. Ill. Mining. Inst., p. 17-43, 8 tabl., 13 fig.
- HAUDOUR J. (1964).- Etude sédimentologique de la partie centrale du faisceau productif du bassin houiller de La Mure. 5e Congr. Intern. Strat. et Géol. du Carbonifère, p. 473-479, 3 fig., Paris.
- HEINZE G. (1955).- Härte -und Festigkeitsuntersuchungen an Kohlen, insbesondere an Ruhrkohlen. Thèse, Münster.
- HEINZE G. (1958).- Härte -und Festigkeitsuntersuchungen an Kohlen, insbesondere an Ruhrkohlen. Bergbau-Archiv, H. 1/2, Jg. 19, Essen.
- HEVIA RODRIGUEZ V. (1959a).- Contribucion al estudio de los errores cometidos en los analisis microscopicos cuantitativos. Bol. Inform. Inst. Nac. Carbon, 44, p. 73-80, 2 tabl., 5 fig., Oviedo.
- HEVIA RODRIGUEZ V. (1959b).- Nueva contribucion al estudio de los errores cometidos en los analisis microscopicos cuantitativos. Bol. Inform. Inst. Nac. Carbon, 45, 6 tabl., 3 fig., Oviedo.
- HEVIA RODRIGUEZ V. (1960).- Reuniones internacionales sobre petrografia del carbon, Bol. Inform. Inst. Nac. Carbon, 9, 48, p. 90-91, Oviedo.
- HEVIA RODRIGUEZ V. et PRADO GONZALEZ J. (1960).- Estudio petrografico de una capa de carbon. Bol. Inform. Inst. Nac. Carbon, 48, 2 fig., 1 tabl., 30 fig. h.t., Oviedo.
- HEVIA RODRIGUEZ V. (1964).- A propos des microlithotypes des charbons. 5me Congr. Int. Str. Géol. Carb., t. III, p. 923-932, 5 tabl., 16 fig., Paris.

- HIRSCH P.B. (1954).- X- ray scattering from coals. Proc. roy. Soc., Ser. A, 226, n° 1165, p. 143-169, 20 fig., 4 tabl., 2 pl. h. t.
- HOFFMANN E. et JENKNER A. (1932).- Die Inkohlung und ihre Erkennung im Mikrobild. Glückauf, 68, 818, Essen.
- HOFFMANN E. et JENKNER A. (1933).- Coalification and its detection under the microscope. Fuel, vol. XII, n° 3, 18 fig., p. 98-106, London (translated from Glückauf, 1932, 68, 818, by E.R. Franz).
- HOLUBAR V., KREJCIK Z. (1957).- Vyznam stanovení adrazové mohutnosti uhlé pro charakteristiku stupně prouhelnění. (Importance de la détermination du pouvoir réflecteur du charbon pour la caractérisation du degré de carbonisation). Cas. Mineral. Geol. Ceskosl., 2, n° 1, 46-58.
- HONDA H. et SANADA Y. (1956).- Hardness of coal. Fuel, 35, n° 4, p. 451-461.
- HONDA H. et SANADA Y. (1957).- Microhardness of carbonized coal. Fuel, 36, n° 4, p. 403-416.
- HONDA H. et SANADA Y. (1958).- Dynamic hardness of coal. Fuel, 37, n° 2, p. 141-150.
- HUNTJENS F.J. et VAN KREVELEN D.W. (1954).- Chemical and physical properties of coal - Reflectance. Fuel, vol. XXXIII, p. 88-103, 3 tabl., 11 fig., London.
- JONES J.M. (1961).- The measurement of some of the physical properties of the coal macerals and their variation with rank. Thesis, University of Durham, 380 p., 87 graph., 12 pl., G.B.
- JONES J.M. (1962).- A new micro-reflectometer. Econ. Geol., v. 57, p. 42-49.
- KISCH H.J. et G.H. TAYLOR (1966).- Metamorphism and alteration near an intrusive coal contact. Econ. Geol. 61, p. 343-361, 16 fig.

- KOSANKE R.M. (1952).- Petrographic and microchemical studies of coal. Proc. Second Crystal cliffs Conference on the origin and constitution of coal, p. 248-267, Nova Scotia.
- KOSANKE R.M. et HARRISON J.A. (1957).- Microscopy of the resin rodlets of Illinois. Illinois Geol. Survey, Circ. 234, 16 p., 4 pl.
- KÖTTER K. (1960).- Die mikroskopische Reflexionsmessung mit dem Photomultiplier und ihre Anwendung auf die Kohlenuntersuchung. Brennstoff-Chemie, Bd 41, nr 9, p. 263-272, 18 fig., Essen.
- KÖTTER K. et LANGNER W.D. (1961).- Automatisierung von statistischen Reflexionsmessungen an Kohlen. Brennstoff-Chemie, Bd 42, Nr. 12, p. 380-385, 2 tabl., 8 fig., Essen.
- KUYL O.S. et PATIJN R.J.H. (1958).- Coalification in relation to depth of burial and geothermic gradient. C. R. 4e Congr. Strat. et Géol. Carbonifère, t. II, p. 357-365, Heerlen.
- LADAM A., ISELIN P. et ALPERN B. (1958).- Méthodes de séparation de l'exinite. Propriétés physico-chimiques comparées d'une exinite et d'une vitrinite de charbon flambant. Brennstoff-Chemie, 2e Internationale Tagung für Kohlenwissenschaft, Valkenburg.
- LAMBRECHT M. (1967).- Observations relatives à la note de MM. Feys, Geffroy et Vetter. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXVII, p. 151-152, Lille.
- LARSEN G. et CHILINGAR G.V. (1967).- Developments in sedimentology 8. Diagenesis in sediments. Elsevier publishing company, Amsterdam.
- LAVEINE J.P. (1965).- Contribution à l'étude des microspores de différents niveaux du Westphalien C inférieur. Corrélations palynologiques entre les groupes d'Auchel-Bruay et de Béthune-Noeux. Ann. Soc. géol. Nord, p. 129-153, Lille.

- LAVEINE J.P. (1967).- Les Neuroptéridées du bassin houiller du Nord de la France. Et. géol. Atl. Top. sout., H.B.N.P.C., I.- Flore fossile, 5e fasc. Texte, p. 1-344, Atlas, pl. A-P et I-LXXXIV.
- LEGRAND F. (1962).- Tonstein du bassin houiller du Nord de la France. Méthode rapide d'identification. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXII, p. 49-61, 4 pl., Lille.
- LEGRAYE M. (1929).- L'influence de certains constituants de la houille sur la cokéfaction. Ann. Soc. géol. Belgique, LII, Bull. n° 6, p. B 137-143, 2 fig., Liège.
- LEGRAYE M. (1931).- L'influence des constituants des houilles et de leur degré d'évolution sur leurs propriétés industrielles. L'Annuaire de l'A.I., n°1, Liège.
- LERMUSIAUX A. (1959).- Etude aux rayons X de la structure des charbons. 18 fig., Thèse, Paris.
- LIENHARDT G. (1961a).- Subsidence et enallaxie, phénomènes fondamentaux régissant les dépôts du Stéphaniens de Lons-le-Saunier (Jura). C. R. Ac. Sc., t. 252, p. 2572-2574, Paris.
- LIENHARDT G. (1961b).- Subsidence et enallaxie : deux phénomènes qui président aux dépôts stériles et phytogènes du Stéphaniens de Lons-le-Saunier (Jura). Bull. Soc. géol. France, 7, t. III, p. 101-107, 5 fig., Paris.
- LLOPIS LLADO N. (1964).- Cinématique marginale des bassins sédimentaires et sédimentation carbonifère. C. R. 5e Congr. Intern. Strat. et Géol. Carbonifère, 6 fig., p. 553-561, Paris.
- LOBOZIAK S. (1963).- Etude palynologique comparative des couches du Westphalien C inférieur dans le groupe d'Auchel-Bruay des H.B.N.P.C. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXIII, p. 71-77, 1 fig., Lille.

- LOBOZIAK S. (1965).- Répartition stratigraphique des mégaspores des faisceaux de Six-Sillons et d'Ernestine (Westphalien C) dans la partie occidentale du Bassin houiller du Nord de la France. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXV, p. 309-320, 1 fig., Lille.
- LOIRET (1932).- Note technique n° 187 du Comité central des Houillères de France, Septembre 1932.
- Mc CARTNEY J.T. (1952).- A study of the Seyler theory of coal reflectance. Econ. Geol., v. 47, n° 2, p. 202-210.
- Mc CARTNEY J.T. et HOFER L.J.E. (1955).- Microreflectivity Analysis of Coal. Analytic. Chem., 27, p. 1320-1325.
- Mc CARTNEY J.T. et ERGUN S. (1958).- Optical properties of graphite and coal. Fuel, vol. XXXVII, p. 272-282, London.
- Mc CARTNEY J.T. et ERGUN S. (1960).- Reflectance of coal, Graphite and Diamond. Fuel, vol. XXXIX, p. 449, London.
- MACKOWSKY M.Th., DAHME A. (1951).- Chemischphysikalische und petrographische Untersuchungen an Kohlen, Koksen und Graphiten, V. Mikroskopische, chemische, und roentgenographische Untersuchungen an Anthraziten. Brennstoff-Chemie, vol. 32, p. 175-186.
- MACKOWSKY M.Th. (1953a).- Fortschritte und neue Erkenntnisse auf dem Gebiete der Kohlenpetrographie. Glückauf, H. 39/40., S. 1013/18, Jg 89.
- MACKOWSKY M.Th. (1953b).- Probleme der Inkohlung. Brennstoff-Chemie, Nr. 11/12, Bd. 34, S. 182-185, 2 Abb., Essen.
- MACKOWSKY M.Th. (1955).- Der Sedimentationsrhythmus der Kohlenflöze. Neues Jb. Geol. Paläontol., Mh., 10, S. 438-449, 8 Abb., Stuttgart.
- MACKOWSKY M.Th. (1958a).- Vergleichende Betrachtungen über die Methodik der europäischen und der amerikanischen Kohlenpetrographie. Brennstoff-Chemie, Bd. 23, S. 1-10, 2. Intern. Tagung für Kohlenwissenschaft, Valkenburg.

- MACKOWSKY M.Th. (1958b).- Bericht über die Tätigkeit der Internationalen Arbeitsgruppe für die Kohlenpetrographische Analyse. Proceed. Int. Com. Coal Petrology, n° 3, Heerlen, 14 fig., Maastricht.
- MACKOWSKY M.Th. et OTTE M.U. (1958).- Procédés et possibilités pour l'examen au microscope des agglomérés. Rev. Ind. Min., n° spéc. 15 juillet 1958.
- MACKOWSKY M.Th. et KÖTTER K. (1960).- Etude sur l'agglomération au moyen du microscope. Rev. Ind. Min., vol. 42, n° 1, p. 3-16, 15 fig.
- MACKOWSKY M.Th. (1962).- Méthode d'étude des pâtes à coke et nouveaux résultats de recherches sur les problèmes de la cokéfaction. Ann. Mines Belgique, n° 11, p. 1121-1132, 14 fig., Liège.
- MAHADEVAN C. (1929).- X-rays study of vitrain and durain and their constituents. Ind. Journ. of Phys., vol. IV, 2, 19.
- MAHADEVAN C. (1930).- Further X-rays studies of carbonaceous and bituminous materials. Ind. Journ. of Phys., vol. IV, 4, 457.
- MARSHALL C.E. (1954).- Introduction to a study of the nature and origin of fusain (fusinite), Fuel, vol. XXXIII, p. 134-144, London.
- MARSHALL C.E. (1955).- Coal petrology. Econ. Geol., Fiftieth Anniv. vol., p. 757-834.
- MARSHALL C.E., HARRISON J.A., SIMON J.A. and PARKER M.A. (1958).- Petrographic and coking characteristics of coal. Laboratory Study of Illinois Coal Seams NOS 5 and 6. Illinois State Geol. Surv., Bull. 84, 120 p., 90 fig., 36 tabl., 9 pl., Urbana.
- MAURENBRECHER A.L.F.J. (1944).- Kolenpetrographische Studiën. Parallelisatie van de Koollagen Grauweck, Senteweck, Rauschenwerk en Athwerk van het Nederlandse mijngebied. Diss. Groningen en Geol. Stichting, Serie C-III-2, n°2, 7 tabl., 8 fig., 6 pl., 3 tabl. h.t., Maastricht.

- MERIAUX E. (1964a).- Caractères pétrographiques des houilles du sondage Loos 5 (groupe de Lens-Liévin). Ann. Soc. géol. Nord., t. LXXXIII, p. 223-230, 2 tabl., 1 fig., 1 pl., nov. 1963, Lille.
- MERIAUX E. (1964b).- Valeur moyenne du pouvoir réflecteur maximum des charbons du sondage Loos 5 (groupe de Lens-Liévin). Ann. Soc. géol. Nord., t. LXXXIV, p. 19-28, 2 fig., 51 réf. biblio., Lille.
- MERIAUX E. (1966a).- Caractères des houilles de Dara-e-Souf (Turkestan afghan). Ann. Soc. géol. Nord., t. LXXXVI, p. 47-52, 4 tabl., 1 pl., Lille.
- MERIAUX E. (1966b).- A propos des analyses macérales. Ann. Soc. géol. Nord., t. LXXXVI, 7 tabl., p. 109-114, Lille.
- MERIAUX E. (1967).- Analyse pétrographique des anthracites de Djerada (Maroc). Ann. Soc. géol. Nord., t. LXXXVII, p. 187-192, 2 tabl., 5 fig., 1 pl., Lille.
- MONNOT G.A. et LADAM A. (1955).- Propriétés physiques et chimiques comparées de l'exinite et de la vitrinite, C. R. Ac. Sc., t. 241, n° 25, p. 1939-1941, Paris.
- MUKHERJEE B.C. (1952).- Studies of the reflectance of coal and of some forms of carbon for vertically incident light, Fuel, vol. XXXI, p. 153-158, 4 tabl., London.
- MURCHISON D.G. (1957).- Reflectance studies in relation to coal petrology. Ph. D. Thesis, University of Durham.
- MURCHISON D.G. (1958).- Reflectance of vitrinite. Brennstoff-Chemie, 29, p. 47, Essen.

- MURCHISON D.G. (1960).- The accuracy and the subjectivity factor of reflectance measurements with the Berek-microphotometer. Proc. Int. Comm. Coal Pet., n° 3, p. 49-57.
- MURCHISON D.G. et BOULT E.H. (1961).- Polished surfaces of the coal macerals. Fuel, vol. IL, p. 389-406, London.
- MURCHISON D.G. et WESTOLL T.S. (1968).- Coal and Coal-bearing strata. Oliver and Boyd, Edinburgh and London.
- NEWMANN P.C. et WHELAN P.F. (1952).- Separation of hard and bright coal mined from a single seam by photoelectric comparison of the differences between specular and diffuse reflections from each lump. Fuel, 31, n° 4, p. 481-493, London.
- NF . M 11-001 (1944).- Essai de gonflement au creuset des houilles cokéfiantes. AFNOR, Paris.
- NF . M 10-001 (1950).- Classification, d'après leur nature, des houilles, des anthracites et de leurs mélanges. AFNOR, Paris.
- NF . M 03-003 (1962).- Détermination du taux de cendres des houilles. AFNOR, Paris.
- NF . M 03-004 (1967).- Détermination de l'indice de matières volatiles d'un combustible solide. AFNOR, Paris.
- NOEL R. (1956a).- Préparation des piliers de charbon en vue de leur étude pétrologique en lumière réfléchie et nouvelle méthode de représentation des profils de veine. Proceedings of the Intern. Comm. for Coal Petrology, n° 2, p. 28-30, 9 fig., Bruxelles.
- NOEL R. (1956b).- Aspect particulier des constituants pétrographiques dans certains charbons très évolués des bassins de Liège, de Herve et de Campine. Ann. Mines Belgique, 2e livraison, mars 1956, p. 253-256, Liège.

- NOEL R. (1962).- Etude pétrographique des charbons belges du Bassin de Campine. Ann. Mines de Belgique, 1962, 2e livraison, p. 139-146, Liège.
- NOEL R. (1966).- Sur deux paramètres du rang des charbons : indices de matières volatiles et pouvoir réflecteur. Ann. Soc. géol. Belgique, t. 89, 1965-66, Bull. n° 1/4, p. 121-130, 7 fig., Liège.
- NOEL R. (1967).- Pouvoir réflecteur. Application industrielle in COPPENS P.L. (1967), Chap. VIII, p. 137-161. I.N.I.C.H.A.R., D/1967/0951/2, Liège.
- ORCEL J. (1927).- Sur l'emploi de la pile photo-électrique pour la mesure du pouvoir réflecteur des minéraux opaques. C. R. Ac. Sc., t. 185, n° 21, p. 1141-1143, Paris.
- ORCEL J. (1928).- Remarques sur la mesure du pouvoir réflecteur des minéraux opaques et des minéraux transparents très réfringents. C. R. Ac. Sc., t. 187, n° 23, p. 1055-1057, Paris.
- ORCEL J. (1930).- La mesure du pouvoir réflecteur des minéraux opaques à l'aide de la cellule photo-électrique et ses applications. Bull. Soc. franç. Minér., t. 53, 13 fig., 6 pl., p. 301-349, Paris.
- PAREEK H.S. (1963).- Coal petrography - Its nomenclature and application, Indian Minerals, vol. XVII, n° 3, p. 254-260.
- PAREEK H.S. (1964).- The nature and origin of certain micro-constituents in the coals of Talcher coalfield, India. Ve Congr. Intern. Str. et Géol. Carbonifère, sept. 1963, p. 991-995, 4 pl., Paris.
- PARKS B.C. et O'DONNELL H.J. (1948).- Détermination of petrographic components of coal by examination of thin sections. Am. Inst. Min. Metallurgical Eng. Tech. publ. n° 2492, class F, 17 pp.
- PASTIELS A. (1964).- La distribution stratigraphique des Lamellibranches non marins du Namurien et du Westphalien A de la Belgique. C. R. 5e Congr. Intern. Strat. et Géol. Carbonifère, 3 fig., p. 619-629, Paris.

- PATIJN R.J.H. (1964).- La formation de gaz due à des rehouillifications dans le Nord-Est des Pays-Bas. C. R. 5e Congr. Intern. Strat. et Géol. Carbonifère, 8 fig., p. 631-645, Paris.
- PATTEISKY K. et TEICHMÜLLER M. (1958).- Examen des possibilités d'emploi de diverses échelles pour la mesure du rang des charbons et propositions pour la délimitation des principaux stades de houillification. Rev. Ind. Min., num. spéc., p. 121-137, 7 fig., Paris.
- PATTEISKY K. et TEICHMÜLLER M. (1960).- Inkohlungs-Verlauf, Inkohlungs-Masstäbe und Klassifikation der Kohlen auf Grund von Vitrit-Analysen. Brennstoff-Chemie, Nr. 3, Bd. 41, S. 79-84, S. 98-104, S. 133-137, Essen.
- PETIT R. et BUISINE M. (1957).- Distribution des indices de matières volatiles dans les veines du Groupe de Lens-Liévin. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXVII, p. 82-103, 6 pl., Lille.
- PICKHARDT W. (1954).- Ueber den Sklerotinit in paläozoischen Steinkohlenflözen. Diss. Bonn.
- PICKHARDT W. et ROBOCK K. (1965).- Weiterentwicklung einer Apparatur zur photoelektrischen Messung der Reflexion und der Absorption. Brennstoff-Chemie, N. 2, Bd. 46, S. 44-48, 10 Bild., Essen.
- PRADO J.G. (1963).- Un nuevo metodo para la determinacion de techo y muro en algunas capas de carbon. Bol. Inf. d. Inst. nac. Carbon, num. 57, 15 fig., Oviedo.
- PRADO J.G. (1964).- Considerations sur quelques particularités génétiques des premiers Tonstein découverts dans le bassin houiller des Asturies (Espagne). C. R. 5e Congr. Intern. Strat. et Géol. Carbonifère, 30 fig., p. 693-704, Paris.
- PREGERMAIN S. (1957).- Contribution à l'étude du carbone et de charbons minéraux. 178 p., Thèse, Paris.

- PRUVOST P. (1919).- Sur l'existence du terrain houiller en profondeur, à Merville (Nord). C. R. Ac. Sc., t. 168, p. 94-96, Paris.
- PRUVOST P. (1930).- Sédimentation et subsidence. Livre jubilaire S.G.F., 1830-1930, t. II, p. 545-564, 7 fig., Paris.
- PRUVOST P. (1934).- Bassin houiller de la Sarre et de la Lorraine. III. Description géologique. Et. Gîtes Min. de la France, p. 26-31, Lille.
- PRUVOST P. (1937).- Le terrain houiller inférieur sous la ville de Seclin. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXII, p. 14-26, 2 fig., Lille.
- PRUVOST P. (1939).- Quelques observations sur le phénomène de plissement faites dans les bassins houillers. Bull. Soc. géol. France, 5e série, t. IX, p. 307-319, 2 fig., 1 pl. h.t., Paris.
- PUIBARAUD G. (1951).- Sur une singularité de sédimentation. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXI, p. 129-132, 1 fig., Lille.
- ROSIWAL A. (1898).- Ueber geometrische Gesteinanalysen usw. Verh. der k.k. Geolog. Reichsanstalt Wien, p. 143-175.
- ROTH-MEYER H. (1950).- Variation de la microdureté dans les monocristaux en fonction de l'orientation d'un pénétrateur pyramidal. C. R. Ac. Sc., t. 231, n° 18, 30 oct., p. 906-908, Paris.
- SCHEERE J. (1955).- Contribution à l'étude des Tonstein du terrain houiller belge. Publ. Ass. Et. Pal., n° 19, Bruxelles.
- SCHEERE J. (1964).- Etude micrographique de l'évolution diagénétique des roches du Houiller belge. Bull. Soc. belge Géol. Pal. Hydrol., t. LXXII, fasc. 3, Bruxelles.
- SCHNEIDER E. (1965a).- Reflexionsmessungen an Vitrinite und Kutiniten einiger Saarkohlenflözen. Ann. Univ. Saaraviensis : Math-Naturwiss., Fak., 4, 30-40, 3 Taf., Sarrebruck.

- SCHNEIDER E. (1965b).- Sur les variations du pouvoir réflecteur des cutinites du Carbonifère sarrois. C. R. Ac. Sc., t. 260, p. 2014-2015, Paris.
- SCHOPF J.M. (1948).- Variable coalification : the processes involved in coal formation. Econ. Geol., vol. XLIII, n° 3, p. 207-225.
- SCHULLER A. (1951).- Zur Nomenklatur und Genese der Tonsteine. N. Jb. Min., Heft 5, S. 97-109.
- SCHWAB M. (1962).- Über die Inkohlung der Steinkohlen im Nördlichen Saaletrug bei Halle. Geologie, Jg. 11, H. 8, S. 917-942, 23 Abb., Berlin.
- SEYLER C.A. (1943a).- Recent progress in the petrology of coal. Jour. Inst. of Fuel, v. 16, p. 134-141.
- SEYLER C.A. (1943b).- Rock, mineral and maceral. Fuel, vol. XXII, n° 2, p. 46-48, London.
- SEYLER C.A. and EDWARDS W.J. (1949).- Technique of coal petrography. Fuel, vol. XXVIII, n° 6, p. 121-127, 2 tabl., 4 fig., London.
- SEYLER C.A. (1952).- Characteristic petrological components of coal. Fuel, vol. XXXI, p. 159-170, 2 tabl., 6 fig., London.
- SEYLER C.A. (1954).- Proposition des termes lithotype et microlithotype à la Commission de Nomenclature du Comité International de Pétrographie des charbons.
- SEYLER C.A. and CHANDRA D. (1955).- Reflectance of coal. Fuel, vol. XXXIV, p. 503-512, 1 tabl., 9 fig., London.
- SHERLOCK E. (1951a).- Studies on some properties of Alberta coals. Reflectivity and fine structure. Fuel, vol. XXX, n° 4, p. 75-78, 2 fig., 1 tabl., 1 append., London.
- SHERLOCK E. (1951b).- Studies on some properties of Alberta coals. II : Reflectivity. Fuel, vol. XXX, n° 2, p. 31-39, 7 fig., 5 tabl., London.

- SIEVER R. (1951).- X-ray diffraction studies of some physical components of coal (abst). Bull. Geol. Soc. Amer., vol. 62, p. 1473-1479.
- SIEVER R. (1952).- X-ray diffraction study of rank increase in coal. Second conference on the origin and constitution of coal, Crystall cliffs, Nova Scotia, p. 341-360, 18 fig.
- SIEVER R. (1957).- Variation in coal reflectance. Division of the Illinois State Geol. Surv. Circular 241, 1 tabl., 6 fig., Urbana.
- SPACKMAN W., BRISSE A.H. et BERRY W.F. (1956).- Basic coal composition and its relation to preparation and carbonization, Coal division preprints. Am. Inst. Min. Metallurgical Eng., 25 pp.
- SPACKMAN W. (1958).- The maceral concept and the study of modern environments as means of understanding the nature of coal. New York Acad. Sciences, Ser. II, vol. 20, n° 5, p. 411-423.
- SPACKMAN W., BERRY W.F., DUTCHER R.R. and BRISSE A.H. (1960).- Coal and Coal seam composition as related to preparation and carbonization, Regional Technical meetings of American iron and steel institute, or in Contribution n° 60-53 of Pennsylvania State University, College of mineral industries, Pennsylvania.
- SPACKMANN W. et MOSES R.G. (1961).- The nature and occurrence of ash-forming minerals in anthracite. Proceed. Anthracite Conference, Bull. 75, Min. Indust. Exp. Station, 12 fig., 1 pl., Pennsylvania State University.
- STACH E. (1932).- Die Opaksubstanz in der Steinkohle. Sitzgsber. d. Preuss. geol. L. A., H. 7, S. 15-25, 3 Taf.
- STACH E. (1935).- Lehrbuch der Kohlenpetrographie. Verlag Gebrüder Borntraeger, 173 fig., 919 réf. biblio., Berlin.
- STACH E. (1949).- Lehrbuch der Kohlenmikroskopie, Bd I, 285 S., 50 Abb., Essen (Verlag Glückauf).

- STACH E. (1951).- Heutiger Stand der genetischen Deutung der Kohlen gefügebestandteile. C. R. 3e Congrès Strat. Géol. Carbonifère, II, p. 586, Heerlen.
- STACH E. (1953).- L'importance industrielle et économique de la pétrologie de la houille, Conférence I.N.I.C.H.A.R., 12 juin 1953. Ann. Mines Belgique édit., Bruxelles.
- STACH E. et MICHELS H.C. (1955).- Reflexionsmessungen an Kohlenauschliffen mit dem Berek-Mikrophotometer insbesondere am Exinit der Ruhrkohlenflöze. Geol. Jb., Bd 71, 5 Abb., tab. 12-15, S. 113-143, 47 réf. biblio., Hannover.
- STACH E. (1956a).- La sclérotinite et son importance pour l'origine de la dureté. Ann. Mines Belgique, p. 1-19, Ixelles.
- STACH E. (1956b).- Description d'un nouveau microscope pour la mesure du pouvoir réflecteur des charbons. Proceedings of the International Committee for Coal Petrology, Nr 2, p. 12-13, 2 fig.
- STACH E. (1957).- Microscopie en lumière incidente avec bonnettes d'immersion. Rev. "Microscopie", 12, H. 718, p. 232-242, Vienne.
- STACH E. et PICKHARDT W. (1957).- Pilzreste (sklerotinit in paläozoischen Steinkohlen. Paläont. z., n° 3/4, p. 139-162.
- STACH E. (1958a).- Kohlen-Anschliff-Mikroskopie mit Methyleniodid-Immersion. Brennstoff-Chemie, Nr 1/2, Bd. 39, S. 15-20, Essen.
- STACH E. (1958b).- Nouvelle méthode objective pour mesurer la réflexion de la lumière sur les mélanges de charbons à coke. Rev. Ind. Minér., n° sp. 15 juillet, p. 158-170, 9 fig., 1 tabl., discussion, Paris.
- STACH E. (1964).- Zur Untersuchung des Sporinits in Kohlen-Anschliffen. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 12, S. 403-420, 15 Taf., Krefeld.
- STACH E. et DEPIREUX J. (1964).- Künstliche radioaktive Inkohlung. Brennstoff-Chemie, Nr. 1, Bd. 46, p. 7-13, B. 7, Essen.

- STACH E. et PICKHARDT W. (1964).- Tertiäre und karbonische Pilzreste (Sklerotinit). Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 12, S. 377-392, 12 Taf., Krefeld.
- STACH E. (1966).- Der Resinit und seine biochemische Inkohlung. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 13,2, S. 921-968, 10 Taf., 1 Abb., 4 tab., Krefeld.
- STACH E. et ALPERN B. (1966).- Inertodetrinit, Makrinit und Mikrinit. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 13, S. 969-980, 11 Taf., Krefeld.
- STACH E. (1968).- Die Untersuchung von Kohlenlagerstätten. Lehrbuch der angewandten Geologie, Bd. II, T. 1, S. 421-562, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- STAINIER X. (1943).- Des rapports entre la composition des charbons et leurs conditions de gisements. Ann. Soc. géol. Belgique, t. LXVII, Mém., fasc. 1, 440 p., 244 réf. biblio., Liège.
- STASSEN P. (1949).- Quelques wash-outs et dédoublement de couches dans le terrain houiller de la Campine et les enseignements que l'on peut en tirer. Ann. Soc. géol. Belgique, t. LXXII, Liège.
- STASSEN P. (1952).- Les irrégularités d'origine sédimentaire dans les gisements houillers. C. R. 3e Congr. Avanc. Et. Stratigr. Géol. Carbonifère, 2, p. 593-602, 8 fig., Heerlen.
- STEVENSON J.J. (1894).- Origin of the Pennsylvania anthracite. Bull. Geol. Soc. America, vol. 5, p. 39-70, Rochester.
- STIEVENARD M. (1949).- Précisions sur la Grande faille du Midi d'Ourton à Douai. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXIX, p. 315-351, 2 pl., 2 fig., Lille.
- STOPES M.C. (1919).- On the four visible ingredients in banded bituminous coals : studies in the composition of coal, n° 1. Proc. Roy. Soc., Série B, vol. 90, n° B 633, p. 470-487, 4 fig., 2 pl., Londres.
- STOPES M.C. (1935).- On the petrology of the banded bituminous coal. Fuel, 14, p. 4, Londres.

- STRAHAN A., POLLARD W. et RADLEY E.G. (1908).- The coals of South-Wales. Mem. Geol. Surv. of England and Wales, London.
- SUGGATE R.P. et ELPHICK J.O. (1964).- Coal ranks and geothermal gradients in high-volatile bituminous coalfields. Nature, 203, 72.
- TEICHMÜLLER M. et TEICHMÜLLER R. (1949).- Inkohlungs bild im Ruhrkarbon. Zeitschr. deutsch. geol. Ges., 99, p. 40-77, Stuttgart.
- TEICHMÜLLER M. (1958).- Die Genese der Kohle. C. R. du 4ème Congrès pour l'avancement des études de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère, Heerlen, 15-20 sept. 1958, t. III, 1962, p. 699-722, 29 fig., 23 pl., 129 réf. biblio., Maastricht, E. Van Aelst éd.
- TEICHMÜLLER M. (1963).- Die Kohlenflöze der Bohrung Münsterland 1. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., Bd. 11, S. 129-178, 4 Taf., 7 Abb., 12 Tab., Krefeld.
- TEICHMÜLLER M. et TEICHMÜLLER R. (1966).- Die Inkohlung im saarlotharingischen Karbon, verglichen mit der im Ruhrkarbon. Z. deutsch. geol. Ges., Bd. 117, T. 1, S. 243-279, 29 Abb., Hannover.
- TEICHMÜLLER R. (1952).- Zur Metamorphose der Kohle. C. R. 3ème Congr. Strat. Géol. Carbonifère, 2, p. 615-623, 10 fig., Maastricht.
- TERMIER P. (1923).- Sur la présence de Leverriérite dans les Tonstein du Houiller de la Sarre. Bull. Soc. franç. Minér., t. XLVI, p. 18-20, Paris.
- THIESSEN R. et SPRUNK G.C. (1936).- The origin of the finely divided or granular opaque matter in splint coals. Fuel, vol. 15, p. 304-315, 18 fig., Pittsburgh.
- TIMOFEEV P.P. (1955).- Conditions of formation of genetic types of coals and their connection with cycles of sedimentational environment in the Donbass. Dokl. Akad. Nauk. U.R.S.S., 102, p. 809-812, Moscou.
- TOUBEAU G. (1962a).- Mesure de la microdureté Vickers des minéraux opaques et son intérêt en minéralogie. Bull. Soc. Belge Géol. Paléon. Hydrogéol., t. LXXI, fasc. 2, p. 242-267, 6 fig., 2 tabl., Bruxelles.

- TOUBEAU G. (1962b).- Etude des minéraux opaques dans l'infra-rouge proche. Bull. Soc. Belge Géol. Paléon. Hydrologie, t. LXX, p. 281-289, Bruxelles.
- TOUBEAU G. (1964).- Propriétés optiques des Wolframites en diascopie infra-rouge. Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXIV, p. 237-247, 5 fig., 3 tabl., Lille.
- VAN DER HEIDE S. (1949).- The influence of compaction on the development of coalseams, Meded. Geol. Sticht., Nieuwe Serie, n° 3.
- VAN KREVELEN D.W. (1953).- Physikalische Eigenschaften und chemische Struktur der Steinkohle. Brennstoff Chemie, 34, n° 9-10, S. 167/82, Essen.
- VAN KREVELEN D.W. et SCHUYER J. (1957).- Coal Science. Elsevier Publishing Company Amsterdam, 352 p.
- VAN KREVELEN D.W. (1961).- Coal, Typology, Chemistry, Physics and constitution, 514 pages, 2nd edit. Elsevier publishing company, Amsterdam.
- WEGE E. (1954).- Chemische-physikalische und petrographische Untersuchungen an Kohlen, Koksen und Graphiten. VI. Untersuchungen über das Reflexion Vermögen und die Reflexions anisotropie von Vitriten. Brennstoff-Chemie. Bd 35, H, Nr. 1/2, p. 1-6, 33-41, Essen.
- WERY A. (1958).- Relation de Hilt et tectogénèse. Bull. Techn. (Un. Ing. Un. Cath. Louvain), n° 4, Impr. R. Louis, Bruxelles.
- ZEILLER R. (1886).- Bassin houiller de Valenciennes; Description de la flore fossile. Etudes Gîtes Min. France, Texte (1888), p. 1-731, Atlas, pl. I-CXIV.
- ZHEMCHUZHNIKOV Y.A. (1936).- Photometric method of determining the degree of coal lustre. Chem. Abs., 30 (8), 2727, 20 Avril, ou encore : in Institute mekhanicheskoi obrabotkipoleznuikh iskopaeminkh "Mekanobr", 15 years, Socialistic Ind. Serv., 1, 37, 51.

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

Toutes les photographies réalisées en lumière réfléchie procèdent d'un examen, à immersion dans l'huile, de surfaces polies perpendiculairement au plan de stratification.

Planche I

- Fig. 1.- Groupe de Béthune-Noeux. Prélèvement 7. Fosse 7 de Noeux. Etage 850, Bowette Est 7234. Veine Jeanne d'Arc (115). Structure faillée affectant des lits de vitrinite (collinite), de fusinite et de semi fusinite. Les actions mécaniques génératrices de telles fractures n'ont provoqué aucune transformation des différents lits affectés. Seule la disposition géométrique des dépôts a été perturbée. Le plus souvent des accidents de ce genre sont très localisés dans les veines et dans ce cas les déformations résulteraient du tassement de la houille encore plastique au cours de sa diagenèse. Il n'est pas rare d'observer aussi au microscope des lits présentant tous les caractères de véritables glissements de sédiments non consolidés mettant en place des niveaux à structure plissée sur des lits parfaitement stratifiés ou eux-mêmes plissés. La collinite a une structure qui rappelle celle de la colle durcie. C'est le macéral le plus abondant des houilles.
- Fig. 2.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 5. Siège 4 de Bruay. Etage 706, Bowette NW du 6 au 4. Veine 17bis. Echantillon 2. Télinite. La vitrinite présente parfois une structure constituée par les membranes des tissus végétaux houillifiés. On l'appelle alors télinite par opposition à la pâte, gelée ou substance fondamentale appelée collinite. La figure 2 montre les restes d'un tel tissu végétal. Les cavités cellulaires sont plus claires que les membranes complètement estompées. Souvent les propriétés optiques de la télinite rejoignent celles de la collinite et en lumière réfléchie, il est difficile de distinguer ces deux macéraux. Cependant le comportement technologique de la télinite peut être légèrement différent de celui de la collinite.
- Fig. 3.- Groupe de Lens-Liévin. Veine Jeanne. Prélèvement 11, Echantillon 7. Télinite. Le remplissage des cavités cellulaires par des substances rattachées à des résines diffuses souligne ici le caractère organisé du tissu.
- Fig. 4.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 1. Vieux 2 de Marles. Etage 263, Bowette Nord, Veine Rosalie, Echantillon 3. Télinite. La nature ligneuse du tissu originel est complètement estompée. La structure organisée primitive apparaît grâce à la présence de micrinite fine dans les cavités cellulaires. Parfois la gélification des parois a été si poussée que les lumens sont coalescents. La télinite ou xylovitrain de A. Duparque, correspond, rappelons-le, à des tissus ligneux ayant subis une gélification très poussée. Elle représente un macéral accessoire des houilles carbonifères.

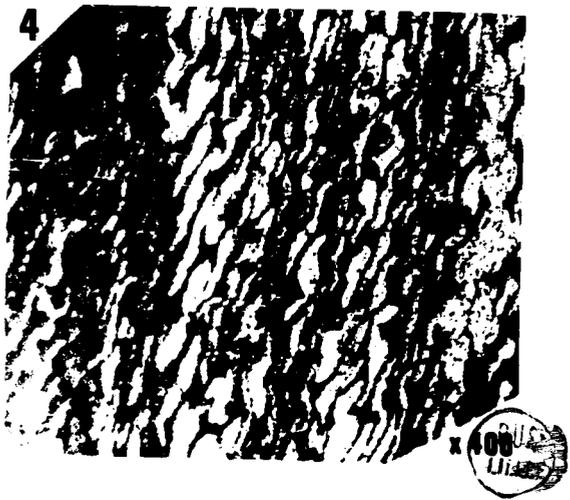
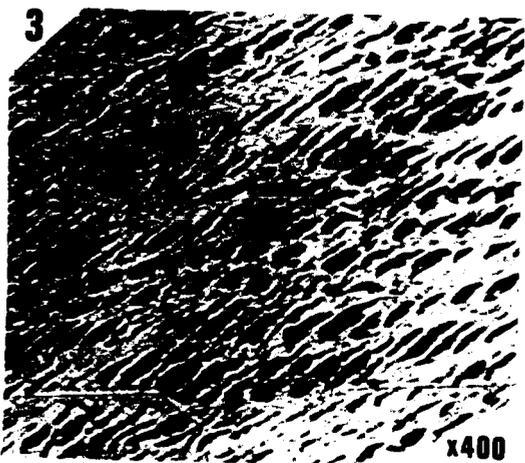


Planche 2

Fig. 1.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 5. Siège 4 de Bruay. Etage 706, Bowette NW du 6 au 4. Veine 17bis. Echantillon 2. Sporinite et micrinite massive. On distingue à gauche l'extrémité d'une mégaspore entourée de microspores nombreuses associées à de la micrinite massive. La microspore repliée en Y présente une teinte plus claire que ses voisines et pour cette raison on lui attribue parfois le nom de leucomicrospore. La sporinite est le plus foncé des macéraux. La micrinite massive résulte du morcellement des tissus ligneux.

Fig. 2.- Groupe de Douai. Prélèvement 17. Fosse 8 de l'Escarpelle, Etage 380, Recoupage RS 5, 1ère veine (1587), échantillon 4. Sporinite. La figure 1 montre un charbon ayant une teneur en matières volatiles égale à 37,5 %. Le charbon figuré ici n'en contient plus que 24,4 %. Dans ce cas, la teinte de toutes les spores est claire et à ce stade il devient impossible pour les palynologistes d'extraire les exines.

Fig. 3.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 1. Vieux 2 de Marles, Etage 263, Bowette Nord, Veine Rufine, Echantillon 5. Sporinite. Cette figure montre que des microspores pouvaient s'accumuler au même endroit en quantité considérable. La stratification très fine des débris organisés est perturbée sur la droite de la photographie par la présence d'un granule. Les lits sous-jacents sont déformés alors qu'au-dessus du grain la stratification est calme. Une telle figure de dépôt constitue bien évidemment un critère de polarité non négligeable.

Pl. 2

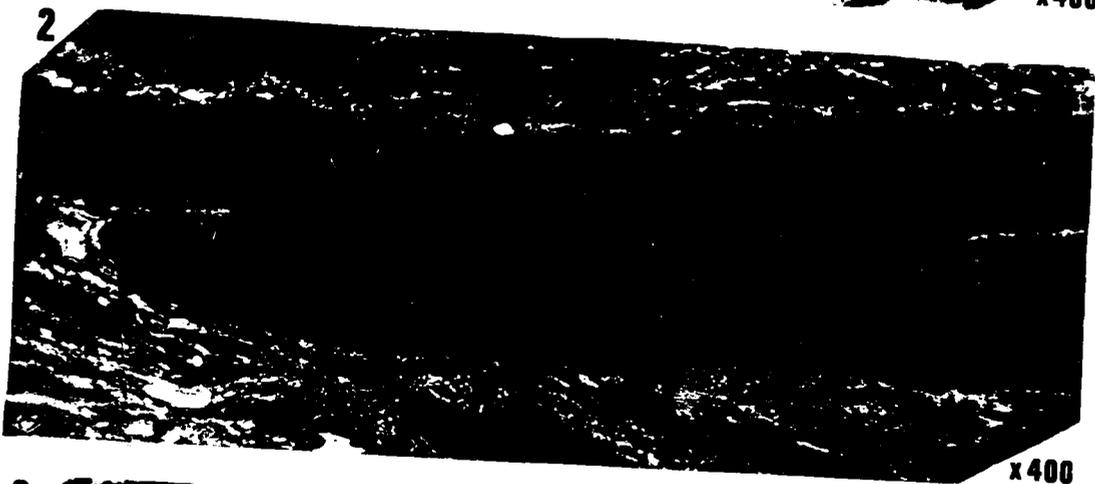


Planche 3

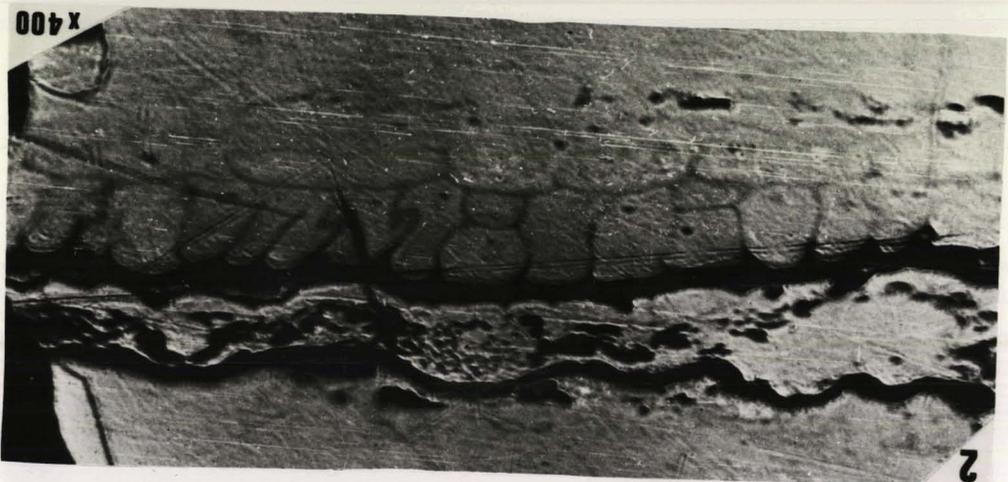
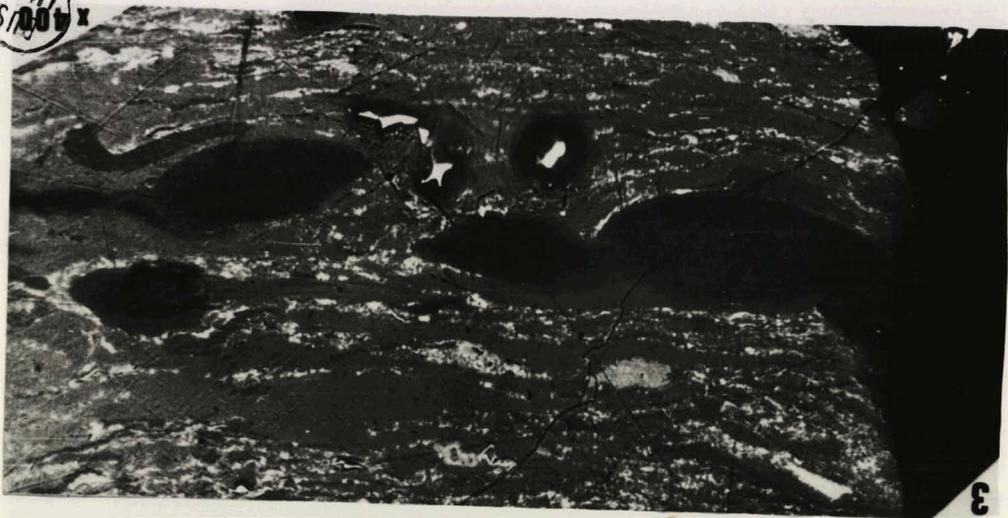
Fig. 1.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 1. Vieux 2 de Marles, Etage 263, Bowette Nord, Veine Rosalie, Echantillon 1. Cutinite. Une cuticule fine divise la photographie en deux. A droite, on observe la paroi interne de la cuticule présentant les restes du parenchyme et une zone assez confuse contenant des fragments noirâtres issus de la désagrégation du parenchyme, des substances résineuses diffuses et de la collinite. A gauche on distingue de la micrinite fine moulant la paroi externe de la cuticule et des microspores flottant dans la vitrinite. La cutinite présente des propriétés optiques et technologiques analogues à celles de la sporinite.

Fig. 2.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 1. Vieux 2 de Marles, Etage 263, Bowette Nord, Veine Rufine, Echantillon 15. Cutinite. Cette cuticule a été figurée en raison de l'état de conservation du parenchyme. Ce dernier montre parfaitement les restes des membranes cellulaires. La première assise visible est constituée de cellules polygonales reposant sur une assise de cellules allongées dans le plan de la photographie. Ces membranes sont peu déformées et il semble ici que la compaction ait peu joué.

Fig. 3.- Groupe de Valenciennes. Prélèvement 19. Fosse Cuvinot. Etage 420, Recoupage 3ème série, Couchant Sud. 20e veine. Echantillon 4. Micrinite fine et résinite.

Cette houille est presque exclusivement constituée de micrinite fine et de collinite. On distingue aussi quatre grandes plages de résinite diffuse sans relief à contours flous. Quelques microspores et des menus débris de fusinite flottent également dans la vitrinite. La résinite est un macéral accessoire des houilles carbonifères, alors que la micrinite fine peut exister en quantités importantes dans certaines d'entre elles.

X 400
S/000
LITE



Pl. 3

5712

Planche 4

- Fig.1.- Groupe de Valenciennes. Prélèvement I3. Fosse Cuvinot. Etage 360, Recoupage 5ème série, couchant Sud issu de la bowette vers Thiers. 19ème veine, Echantillon 3, Semifusinite et micrinite fine. Les deux lames de semifusinite présentent des pouvoirs réflecteurs presque identiques à celui de la collinite environnante. Cependant, on les différencie nettement du ciment grâce à leur structure interne qui présente des vides correspondants aux restes de lumen. Leurs limites sont de plus marquées par un mince filet blanc de micrinite fine.
- Fig.2.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 5. Siège 4 de Bruay. Etage 706, Bowette Nord-Ouest du 6 au 4. Veine I7 bis. Echantillon 5. Sporinite et micrinite fine. La micrinite fine est ici associée à des microspores à exine mince ou épaisse. Il semble que cette association relève plus du classement des corps figurés que d'affinités génétiques.
- Fig.3.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 5. Siège 4 de Bruay. Etage 706, bowette Nord-Ouest du 6 au 4. I7ème veine. Echantillon 1. Sclérotinite. Cette photographie montre deux types de corpuscules sclérotiformes en place dans une lame de fusinite. A la partie inférieure, on distingue un corpuscule à section polygonale, à membrane épaisse possédant des bords à protubérances, une zone centrale presque homogène et une zone intermédiaire entièrement caverneuse. De plus, ce corpuscule présente un pédoncule élargi à sa base encore en rapport avec le tissu ligneux sur lequel il s'est développé. La partie supérieure de la lame ligneuse contient deux sclérotites à très fort relief et à section ovale. Ces corpuscules présentent deux cavités lacunaires d'importance inégale.
- Fig.4.- Groupe de Valenciennes. Prélèvement I3. Fosse Cuvinot. Etage 360, Recoupage 5ème série, couchant Sud issu de la bowette vers Thiers. Passée 554. Echantillon 1. Sclérotinite. Le corpuscule globuleux polygonal, représenté ici, montre un relief important. En raison de sa dureté, il est appelé sclérotinite. Il est bien difficile de le rattacher à une structure végétale connue. De plus, il présente une auréole grisâtre dans les conditions d'éclairement de la figure 4. Cette zonation est due vraisemblablement à une oxydation. Au cours de son dépôt le corpuscule s'est échoué sur un lit de microspores qui s'est incurvé sous son poids. La sédimentation s'est poursuivie au-dessus de lui en épousant ses contours. La sclérotinite est polymorphe et représente un macéral accessoire des houilles. Elle apparaît parfois sous formes d'hyphes entrelacées analogues aux plectenchymes.

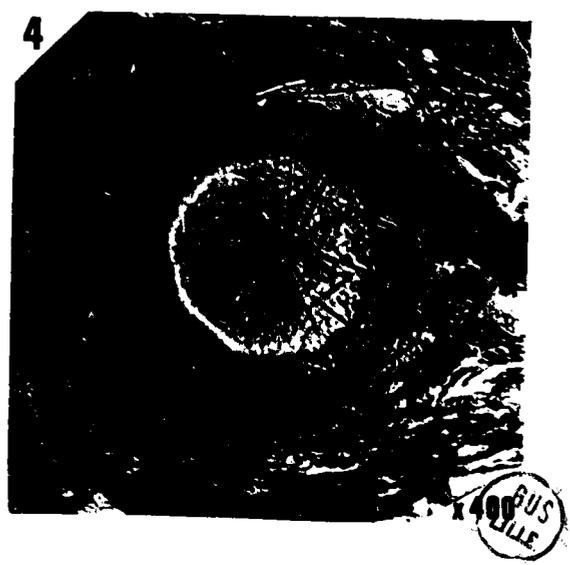
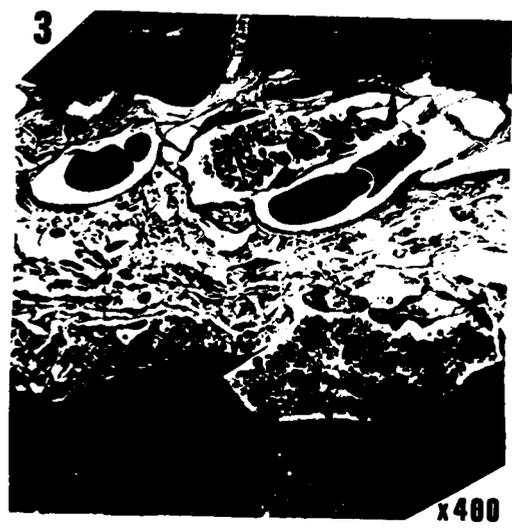


Planche 5

Fig. 1.- Groupe de Valenciennes. Prélèvement 19. Fosse Cuvinot. Etage 420, Recoupage 3^e série, couchant Sud. 19^e veine. Echantillon 3. Semifusinite. Cette houille présente, ici, des lames de semifusinite montrant des degrés de gélification différents. Selon le stade atteint par ces diverses lames ligneuses, le relief fourni par les opérations de polissage est variable et de ce fait la mise au point ne peut être parfaite.

Fig. 2.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 5. Siège 4 de Bruay. Etage 706, bowette Nord-Ouest du 6 au 4. 17^eème veine. Echantillon 1. Aspect d'ensemble. Cette photographie montre une alternance de lits correspondant au dépôt de sporinite (microspores), de sclérotinite, de collinite, de micrinite massive et de semifusinite. La semifusinite présente des degrés de gélification divers. Certaines lames révèlent des restes de trachéïdes. Cette figure atteste de l'extrême complexité d'une houille.



Pl. 5



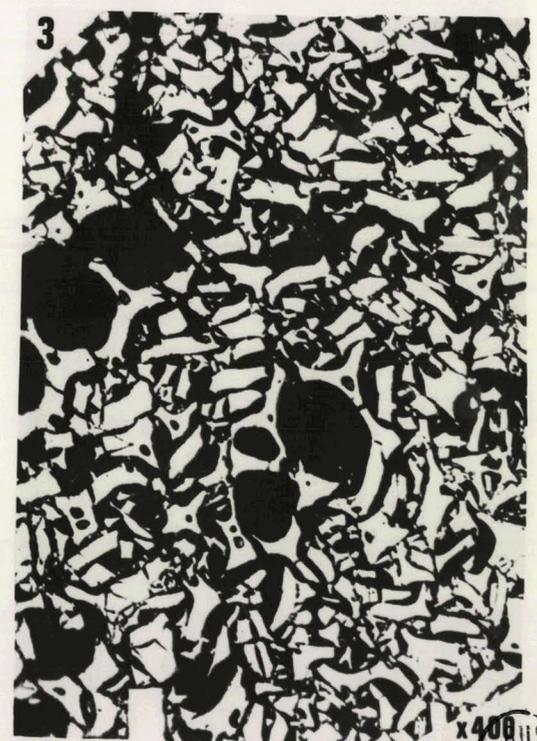
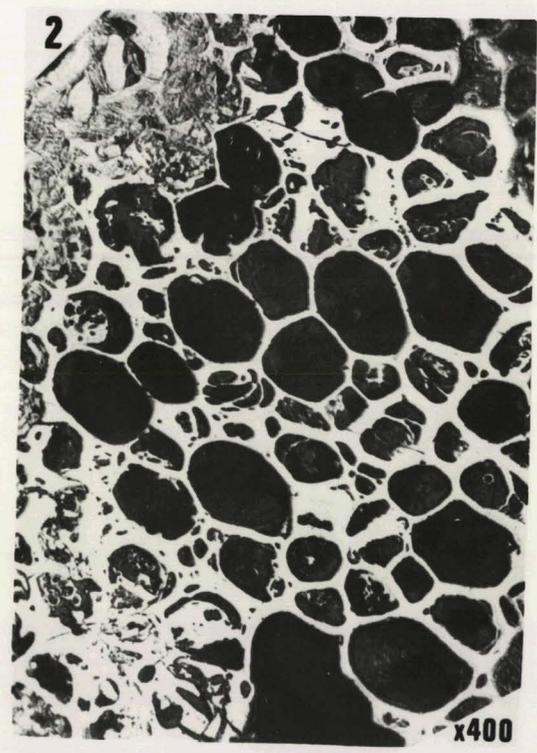
x 400 BUS
LILLE

Planche 6

Fig. 1.- Groupe de Lens-Liévin. Prélèvement I2. Siège I2 de Lens. Bowette I2I06. Echantillon I97. Semifusinite.
Cette photographie montre un terme de passage entre la fusinite et la semifusinite. En effet, par son pouvoir réflecteur élevé et son relief important, ce tissu végétal se rattache à la fusinite mais l'épaississement des parois cellulaires par un phénomène de gélification en fait une semifusinite. Il existe dans les houilles tous les degrés de transformation intermédiaires entre la fusinite et la téninite.

Fig. 2.- Groupe de Valenciennes. Prélèvement I9. Fosse Cuvinot. Etage 420, Recoupage 3ème série, couchant Sud. I9ème veine. Echantillon 3. Fusinite.
La lame de tissu ligneux montre la structure et l'aspect caractéristiques de la fusinite. On remarque que la zone externe moyennement épaisse et homogène de certaines cellules est parfois tapissée intérieurement par une deuxième paroi grêle se détachant partiellement de la première.

Fig. 3.- Groupe de Lens-Liévin. Prélèvement I0. Siège I9 de Lens. Etage 475, bowette I909. Echantillon I83. Fusinite. Structure étoilée.
On reconnaît aisément sur cette figure la structure étoilée que présentent très souvent les lames de tissus ligneux. Ce morcellement provient comme l'a montré A. Duparque de déformations mécaniques ayant dissocié les angles épaissis des cellules ligneuses.



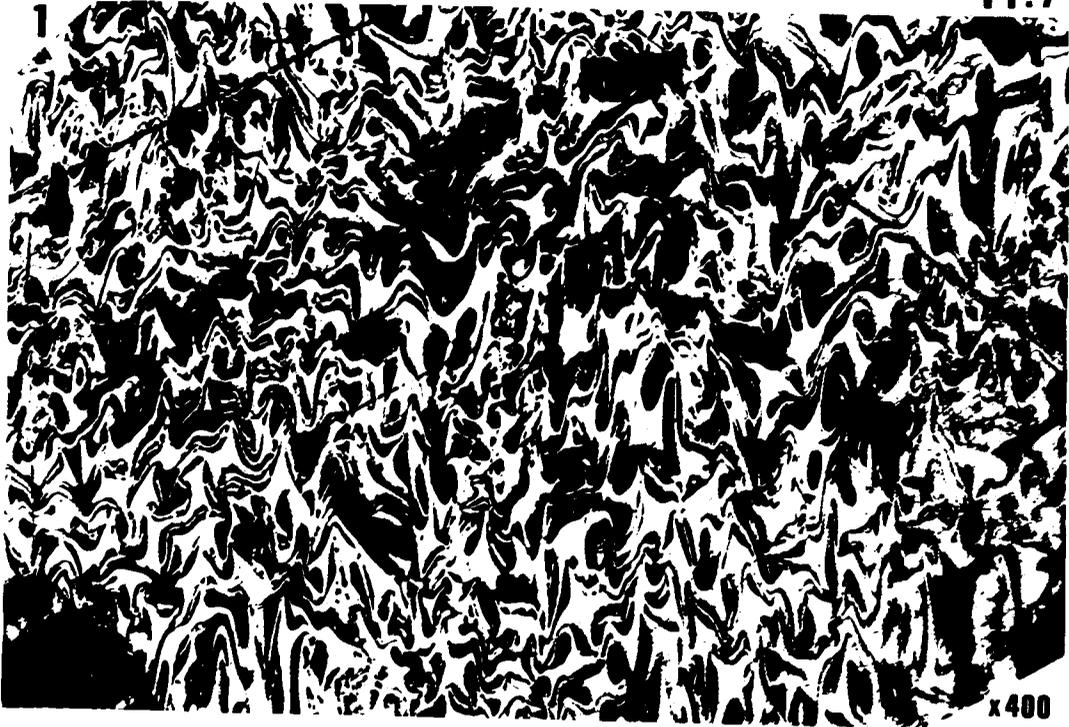
US
L.I.L.E.

Planche 7

Fig. 1.- Groupe de Lens-Liévin. Prélèvement 11. Siège I3 de Lens. V.C.IO, bowette I80.434. Cinq-Sillons. Semifusinite. Les membranes cellulaires légèrement gélifiées ont subi des déformations mécaniques n'ayant pas entraîné leur morcellement. Les parois restées jointives présentent des allures dendritiques.

Fig. 2 et 3.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 2. Fosse 2 d'Auchel. Echantillon 204 (veine Amélie). Fusinite. Ces deux photographies ont été réalisées en lumière polarisée. Elles montrent de la fusinite particulièrement bien conservée dans la sidérose. La figure 2 représente des cellules polygonales alors qu'on voit sur la figure 3 des trachéïdes. La micrinite fine résulte ici de la pulvérisation des membranes secondaires des trachéïdes. L'examen des phénomènes de désagrégation du tissu ligneux le long de la fissure verticale située à gauche de la figure 3 en est une preuve. Le morcellement et l'émiettement de cellules rapportées au sclérenchyme conduisent aussi dans certains cas à la formation de matériel micrinitique.

Pl. 7



BUS
LILLE

TABLES ET INDEX

LISTE DES FIGURES

I

LISTE DES FIGURES

TOME I

	Pages
Fig. 1 Principales divisions du terrain houiller du Nord de la France (d'après A. Bouroz, 1960)	11
Fig. 2 Positions successives du fond du bassin lors du dépôt du Tonstein Patrice et de la veine Rufine-Bienvenue :	
Fig. 2 a.- Compte non tenu des coefficients de compaction	
Fig. 2 b.- Coefficients de compaction appliqués	23
Fig. 3 Mode de prélèvement et traitement subi par un échantillon	51
Fig. 4 Préparation d'un échantillon moyen	53
Fig. 5 Ensemble microscopique	60
Fig. 6 Duromètre DURIMET (LEITZ)	60
Fig. 7 Ensemble photométrique	60
Fig. 8 Convertisseur sans optique électronique	64
Fig. 9 Convertisseur à optique électronique	64
Fig. 10 Comparaison des résultats obtenus par deux observateurs différents pour l'ensemble de la veine Rosalie	68
Fig. 11 Composition selon le point de prise dans la veine Rosalie. Comparaison des résultats obtenus par deux observateurs différents..	71
Fig. 12 Comptage d'un échantillon moyen par deux observateurs différents.	73

Fig. 13 et 14	Compositions macérales pour des totaux partiels de 0,1 en 0,1 mm	76/77
Fig. 15	Variations des pourcentages des macéraux en fonction du nombre de points comptés (espacement 0,1 mm)	78
Fig. 16	Variations des pourcentages des macéraux et des minéraux en fonction du nombre de points comptés (espacement 0,1 mm)	79
Fig. 17	Composition macérale d'un échantillon moyen	81
Fig. 18	Comparaison des compositions macérales de l'échantillon moyen et de la moyenne arithmétique des échantillons	83
Fig. 19	Comparaison des compositions globales en V, E, I	84
Fig. 20	Variations latérales de la teneur moyenne en collinite des veines voisines du Tonstein Patrice	104
Fig. 21	Relations entre l'allure du fond du bassin et la proportion de la collinite	105
Fig. 22	Variations latérales de la teneur moyenne en sporinite des veines voisines du Tonstein Patrice	107
Fig. 23	Variations latérales de la teneur moyenne en micrinite fine des veines voisines du Tonstein Patrice	109
Fig. 24	Variations latérales de la teneur moyenne en micrinite massive des veines voisines du Tonstein Patrice	111
Fig. 25	Variations latérales de la teneur moyenne en semifusinite des veines voisines du Tonstein Patrice	113
Fig. 26	Variations latérales de la teneur moyenne en fusinite des veines voisines du Tonstein Patrice	115

III

	Pages
Fig. 27	Carte des limites des aires où les dépôts phytogènes présentent des pourcentages de semifusinite inférieurs où égaux à ceux de la fusinite 122
Fig. 28	Variations latérales du rapport micrinite massive sur sporinite au voisinage du Tonstein Patrice 124
Fig. 29	Variations latérales du rapport micrinite massive sur semifusinite au voisinage du Tonstein Patrice 125
Fig. 30	Variations latérales du rapport sporinite sur semifusinite au voisinage du Tonstein Patrice 126
Fig. 31	Variations latérales des rapports micrinite massive sur sporinite, micrinite massive sur semifusinite et sporinite sur semifusinite de la veine Jeanne 138
Fig. 32	Variations latérales des rapports micrinite massive sur sporinite, micrinite massive sur semifusinite et sporinite sur semifusinite de la veine Emilie 139
Fig. 33	Classification des charbons AFNOR. M10-001 147
Fig. 34	Groupe de Lens-Liévin. Sondage Loos 5. Teneurs en matières volatiles, microdureté Vickers, indice de gonflement et pouvoir réflecteur en fonction de la profondeur 155
Fig. 35	Groupe de Lens-Liévin. Veine Emilie. Variations des teneurs en matières volatiles en fonction de la profondeur 159
Fig. 36	Groupe de Lens-Liévin. Veine Jeanne inférieure. Variations des teneurs en matières volatiles en fonction de la profondeur 160
Fig. 37	Groupe de Lens-Liévin. Veine Jeanne. Variations des teneurs en matières volatiles 162
Fig. 38	Groupe de Lens-Liévin. Veine Emilie. Variations des teneurs en matières volatiles 163

IV

	Pages
Fig. 39 Veine Jeanne, Variations de la microdureté en fonction des teneurs en matières volatiles	169
Fig. 40 Veine Emilie, Variations de la microdureté en fonction des teneurs en matières volatiles	171
Fig. 41 Veine Jeanne, Variation de la microdureté en fonction de la profondeur	173
Fig. 42 Veine Emilie, Variation de la microdureté en fonction de la profondeur	174
Fig. 43 Matières volatiles et microdureté	175
Fig. 44 Température de cuisson et microdureté (d'après B. Alpern)	175
Fig. 45 Matières volatiles et rayon des particules (d'après les résultats de A. Lermusiaux)	175
Fig. 46 Température et rayon des particules (d'après les résultats de A. Lermusiaux)	175
Fig. 47 Veines Jeanne et Emilie, Microdureté et pouvoir réflecteur	193
Fig. 48 Variations du pouvoir réflecteur des veines Amélie et Rosalie dans le bassin houiller Nord- Pas-de-Calais	196
Fig. 49 Veine Jeanne, Relations entre le pouvoir réflecteur et la cote du lieu de prélèvement	203
Fig. 50 Veine Emilie, Relations entre le pouvoir réflecteur et la cote du lieu de prélèvement	204
Fig. 51 Fréquence des macéraux dans les charbons	213
51a Collinite	
51b Télinite	
51c Sporinite	
51d Cutinite	

	Pages
Fig. 52 Fréquence des macéraux dans les charbons	215
52a Résinite	
52b Micrinite fine	
52c Micrinite massive	
52d Sclérotinite	
Fig. 53 Fréquence des macéraux dans les charbons	217
53a Semifusinite	
53b Fusinite	

LES VEINES VOISINES DU TONSTEIN PATRICE

= Teneurs en groupes de macéraux

Groupe d'Auchel-Bruay

- Fig. Ia Prélèvement 1. Fosse 2 de Marles. Veine Rufine. Teneurs en groupes de macéraux.
- Fig. Ib Prélèvement 1. Fosse 2 de Marles. Veine Amélie. Teneurs en groupes de macéraux.
- Fig. Ic Prélèvement 1. Fosse 2 de Marles. Veine Rosalie. Teneurs en groupe de macéraux.
- Fig. Id Prélèvement 2. Fosse 2 d'Auchel. Veines Amélie et Rosalie. Prélèvement 4. Fosse 6 d'Auchel. Veines Amélie et Rosalie. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. Ie Prélèvement 3. Fosse 3 de Bruay. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. If Prélèvement 5. Fosse 4 de Bruay. Teneurs en groupes de macéraux des veines situées au toit du Tonstein Patrice.
- Fig. Ig Prélèvement 5. Fosse 4 de Bruay. Teneurs en groupes de macéraux des veines situées au mur du Tonstein Patrice.

VII

Fig. Ih Prélèvement 6. Fosse 6 de Bruay. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Groupe de Béthune-Noeux

Fig. Ij Prélèvement 7. Fosse 7 de Noeux. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. Ik Prélèvement 8. Fosse 13 de Noeux. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. Il Prélèvement 9. Fosse 5 de Béthune. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Groupe de Lens-Liévin

Fig. Im Prélèvement 10. Fosse 19 de Lens. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. In Prélèvement 11. Fosse 13 de Lens. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. Ip Prélèvement 12. Fosse 12 de Lens. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. Iq Prélèvement 13. Fosse 2 de Lens. Teneurs en groupes de macéraux des veines situées au toit du Tonstein Patrice.

Fig. Ir Prélèvement 13. Fosse 2 de Lens. Teneurs en groupes de macéraux des veines situées au mur du Tonstein Patrice.

VIII

Groupe d'Hénin-Liétard

- Fig. Is Prélèvement 14. Puits 21 Nord. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. It Prélèvement 15. Puits 4 Sud. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. Iu Prélèvement 16. Puits 2 Est. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Groupe de Douai

- Fig. Iv Prélèvement 17. Fosse 8 de l'Escarpelle. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Groupe de Valenciennes. Fosse Cuvinot.

- Fig. Iw Prélèvement 18. 5e Série. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées au toit du Tonstein Patrice.
- Fig. Ix Prélèvement 18. 5e Série. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées au mur du Tonstein Patrice.
- Fig. Iy Prélèvement 19. 3e Série. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées au toit du Tonstein Patrice.
- Fig. Iz Prélèvement 19. 3e Série. Teneurs en groupes de macéraux des veines prélevées au mur du Tonstein Patrice.

= Compositions macérale et minérale

Groupe d'Auchel-Bruay

- Fig. IIa Prélèvement 1. Fosse 2 de Marles. Compositions macérale et minérale de la veine Rufine.
- Fig. IIb Prélèvement 1. Fosse 2 de Marles. Compositions macérale et minérale de la veine Amélie.
- Fig. IIc Prélèvement 1. Fosse 2 de Marles. Compositions macérale. et minérale de la veine Rosalie.
- Fig. IId Prélèvement 2, Fosse 2 d'Auchel. Prélèvement 3, Fosse 3 de Bruay. Prélèvement 4, Fosse 6 d'Auchel. Prélèvement 6, Fosse 6 de Bruay. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. IIe Prélèvement 5. Fosse 4 de Bruay. Compositions macérale et minérale des veines prélevées au toit du Tonstein Patrice.
- Fig. IIf Prélèvement 5. Fosse 4 de Bruay. Composition macérale et minérale des veines prélevées au mur du Tonstein Patrice.

Groupe de Béthune-Noeux

- Fig. IIg Prélèvement 7. Fosse 7 de Noeux. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. IIh Prélèvement 8. Fosse 13 de Noeux. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. IIj Prélèvement 9. Fosse 5 de Béthune. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Groupe de Lens-Liévin

Fig. IIk Prélèvement 10. Fosse 19 de Lens. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. IIIl Prélèvement 11. Fosse 13 de Lens. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. IIIm Prélèvement 12. Fosse 12 de Lens. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. IIIn Prélèvement 13. Fosse 2 de Lens. Compositions macérale et minérale des veines situées au toit du Tonstein Patrice.

Fig. IIp Prélèvement 13. Fosse 2 de Lens. Compositions macérale et minérale des veines situées au mur du Tonstein Patrice.

Groupe d'Hénin-Liétard

Fig. IIq Prélèvement 14. Puits 21 Nord. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. IIr Prélèvement 15. Puits 4 Sud. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. IIs Prélèvement 16. Puits 2 Est. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Groupe de Douai

Fig. II t Prélèvement 17. Fosse 8 de l'Escarpelle. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Groupe de Valenciennes. Fosse Cuvinot.

Fig. II u Prélèvement 18. 5e Série. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. II v Prélèvement 18. 5e Série. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. II w Prélèvement 19. 3e Série. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. II x Prélèvement 19. 3e Série. Compositions macérale et minérale des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

= Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques

Groupe d'Auchel-Bruay

Fig. III a Prélèvement 1. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Rufine.

Fig. III b Prélèvement 1. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Amélie.

Fig. III c Prélèvement 1. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Rosalie.

- Fig. III d Prélèvement 2. Fosse 2 d'Auchel. Prélèvement 4. Fosse 6 d'Auchel. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. III e Prélèvement 3. Fosse 3 de Bruay. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. III f Prélèvement 5. Fosse 4 de Bruay. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. III g Prélèvement 6. Fosse 6 de Bruay. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Groupe de Béthune-Noeux

- Fig. III h Prélèvement 7. Fosse 7 de Noeux. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. III j Prélèvement 8. Fosse 13 de Noeux. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. III k Prélèvement 9. Fosse 5 de Béthune. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Groupe de Lens-Liévin

- Fig. IIIl Prélèvement 10. Fosse 19 de Lens. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. IIIm Prélèvement 11. Fosse 13 de Lens. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. IIIn Prélèvement 12. Fosse 12 de Lens. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. IIIp Prélèvement 13. Fosse 2 de Lens. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Groupe d'Hénin-Liétard

- Fig. IIIq Prélèvement 14. Puits 21 Nord. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. IIIr Prélèvement 15. Puits 4 Sud. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.
- Fig. IIIs Prélèvement 16. Puits 2 Est. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Groupe de Douai

Fig. IIIIt Prélèvement 17. Fosse 8 de l'Escarpelle. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Groupe de Valenciennes. Fosse Cuvinot.

Fig. IIIIu Prélèvement 18. 5e Série. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

Fig. IIIIv Prélèvement 19. 3e Série. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques des veines prélevées aux environs du Tonstein Patrice.

LES VEINES EMILIE ET JEANNE DU GROUPE DE LENS - LIEVIN

= La veine Emilie- Teneurs en groupes de macéraux

Fig. IVa Prélèvement 1. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Emilie.

Fig. IVb Prélèvement 2. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Emilie.

Fig. IVc Prélèvement 3. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Emilie.

Fig. IVd Prélèvement 4. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Emilie.

Fig. IVe Prélèvement 5. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Emilie.

- Fig. IVf Prélèvement 6. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Emilie.
Fig. IVg Prélèvement 7. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Emilie.
Fig. IVh Prélèvement 8. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Emilie.
Fig. IVj Prélèvement 9. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Emilie.

- Compositions macérale et minérale

- Fig. Va Prélèvement 1. Compositions macérale et minérale de la veine Emilie.
Fig. Vb Prélèvement 2. Compositions macérale et minérale de la veine Emilie.
Fig. Vc Prélèvement 3. Compositions macérale et minérale de la veine Emilie.
Fig. Vd Prélèvement 4. Compositions macérale et minérale de la veine Emilie.
Fig. Ve Prélèvement 5. Compositions macérale et minérale de la veine Emilie.
Fig. Vf Prélèvement 6. Compositions macérale et minérale de la veine Emilie.
Fig. Vg Prélèvement 7. Compositions macérale et minérale de la veine Emilie.
Fig. Vh Prélèvement 8. Compositions macérale et minérale de la veine Emilie.
Fig. Vj Prélèvement 9. Compositions macérale et minérale de la veine Emilie.

- Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques

- Fig. VIa Prélèvement 1. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Emilie.

- Fig. VIb Prélèvement 2. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Emilie.
- Fig. VIc Prélèvement 3. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Emilie.
- Fig. VI d Prélèvement 4. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Emilie.
- Fig. VIe Prélèvement 5. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Emilie.
- Fig. VI f Prélèvement 6. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Emilie.
- Fig. VI g Prélèvement 7. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Emilie.
- Fig. VI h Prélèvement 8. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Emilie.
- Fig. VI j Prélèvement 9. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Emilie.

= La veine Jeanne

- Teneurs en groupes de macéraux

- Fig. VIIa Prélèvement 1. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Jeanne.
- Fig. VIIb Prélèvement 2. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Jeanne.
- Fig. VIIc Prélèvement 3. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Jeanne.

- Fig. VIIId Prélèvement 4. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Jeanne.
- Fig. VIIIf Prélèvement 5. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Jeanne.
- Fig. VIIIf Prélèvement 6. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Jeanne.
- Fig. VIIIf Prélèvement 7. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Jeanne.
- Fig. VIIIf Prélèvement 8. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Jeanne.
- Fig. VIIIf Prélèvement 9. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Jeanne.
- Fig. VIIIf Prélèvement 10. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Jeanne.
- Fig. VIIIf Prélèvement 11. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Jeanne.
- Fig. VIIIf Prélèvement 12. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Jeanne.
- Fig. VIIIf Prélèvement 13. Teneurs en groupes de macéraux de la veine Jeanne.

- Compositions macérale et minérale

- Fig. VIIIa Prélèvements 1 et 2. Compositions macérale et minérale de la veine Jeanne.
- Fig. VIIIb Prélèvement 3. Compositions macérale et minérale de la veine Jeanne.
- Fig. VIIIc Prélèvement 4. Compositions macérale et minérale de la veine Jeanne.
- Fig. VIId Prélèvement 5. Compositions macérale et minérale de la veine Jeanne.
- Fig. VIIIe Prélèvement 6. Compositions macérale et minérale de la veine Jeanne.

- Fig. VIII f Prélèvement 7. Compositions macérale et minérale de la veine Jeanne.
- Fig. VIII g Prélèvement 8. Compositions macérale et minérale de la veine Jeanne.
- Fig. VIII h Prélèvement 9. Compositions macérale et minérale de la veine Jeanne.
- Fig. VIII j Prélèvement 10. Compositions macérale et minérale de la veine Jeanne.
- Fig. VIII k Prélèvement 11. Compositions macérale et minérale de la veine Jeanne.
- Fig. VIII l Prélèvement 12. Compositions macérale et minérale de la veine Jeanne.
- Fig. VIII m Prélèvement 13. Compositions macérale et minérale de la veine Jeanne.

= Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques

- Fig. IX a Prélèvement 1. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Jeanne.
- Fig. IX b Prélèvement 2. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Jeanne.
- Fig. IX c Prélèvement 3. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Jeanne.
- Fig. IX d Prélèvement 4. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Jeanne.
- Fig. IX e Prélèvement 5. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Jeanne.
- Fig. IX f Prélèvement 6. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Jeanne.

- Fig. IXg Prélèvement 7. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Jeanne.
- Fig. IXh Prélèvement 8. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Jeanne.
- Fig. IXj Prélèvement 9. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Jeanne.
- Fig. IXk Prélèvement 10. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Jeanne.
- Fig. IXl Prélèvement 11. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Jeanne.
- Fig. IXm Prélèvement 12. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Jeanne.
- Fig. IXn Prélèvement 13. Variations verticales des caractères pétrographiques et chimiques de la veine Jeanne.

LES VEINES RENCONTREES DANS LE SONDRAGE LOOS 5

- Fig. X Groupe de Lens-Liévin. Positions stratigraphiques et géométriques et caractères chimiques et physiques des houilles du sondage Loos 5.
-

LISTE DES TABLEAUX

	Pages
Tabl. 1	Projection sur la carte du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais à la cote - 300 des différents points de prélèvements 10
Tabl. 2	Position stratigraphique des charbons étudiés au voisinage du Tonstein Patrice 15
Tabl. 3	Corrélations entre les groupes de macéraux et les macéraux des houilles du bassin du Nord et du Pas-de-Calais 70
Tabl. 4	Résultats de comptages particuliers 82
Tabl. 5	Composition moyenne des veines situées au voisinage du Tonstein Patrice dans les différents groupes du bassin 86
Tabl. 6	Corrélations intermacérales des niveaux de charbons inférieurs (niveau 2) et supérieurs (niveau 1) au Tonstein Patrice 102
Tabl. 7	Valeur (%) des corrélations entre les macéraux des houilles voisines du Tonstein Patrice sur toute l'étendue du bassin.. 117
Tabl. 8	Faciès de la veine Emilie aux différents points de prélèvements 130

Tabl. 9	Composition moyenne en groupes de macéraux et faciès de la veine Jeanne aux différents points de prélèvements.....	131
Tabl. 10	Corrélations intermacérales relatives aux veines Jeanne (J) et Emilie (E) prises séparément et ensemble (J + E)	136
Tabl. 11	Valeurs (%) des corrélations entre l'indice de gonflement et les autres paramètres des houilles (* Probabilité et crédibilité fortes).....	150
Tabl. 12	Valeurs (%) des corrélations entre les teneurs en matières volatiles et les autres paramètres des houilles (* Probabilité et crédibilité fortes)	152
Tabl. 13	Valeurs (%) des corrélations entre les teneurs en matières volatiles, les indices de gonflement et les autres paramètres des houilles des veines Jeanne et Emilie (* Probabilité et crédibilité fortes)	157
Tabl. 14	Constitution d'un charbon d'après A. Lermusiaux (1959)	177
Tabl. 15	Valeurs (%) des corrélations entre le pouvoir réflecteur et les macéraux, groupes de macéraux, minéraux et caractères chimiques des houilles (* Probabilité et crédibilité fortes)	191
Tabl. 16	Caractères chimiques et pouvoir réflecteur des veines prélevées à la fosse Cuvinot du groupe de Valenciennes	202

LISTE DES PLANCHES

PHOTOGRAPHIQUES

	Pages
<u>Planche 1</u>	266
Fig. 1.- Groupe de Béthune-Noeux. Prélèvement 7. Fosse 7 de Noeux. Etage 850. Bowette Est 7234. Veine Jeanne d'Arc (115). <u>Structure faillée.</u>	
Fig. 2.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 5. Siège 4 de Bruay. Etage 706. Bowette NW du 6 au 4. Veine 17bis. Echantillon 2. <u>Télinite.</u>	
Fig. 3.- Groupe de Lens-Liévin. Veine Jeanne. Prélèvement 11. Echantillon 7. <u>Télinite.</u>	
Fig. 4.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 1. Vieux 2 de Marles. Etage 263. Bowette Nord. Veine Rosalie. Echantillon 3. <u>Télinite.</u>	
 <u>Planche 2</u>	 267
Fig. 1.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 5. Siège 4 de Bruay. Etage 706. Bowette NW du 6 au 4. Veine 17bis. Echantillon 2. <u>Sporinite.</u>	
Fig. 2.- Groupe de Douai. Prélèvement 17. Fosse 8 de l'Escarpelle. Etage 380. Recoupage RS5. 1ère veine (1587). Echantillon 4. <u>Sporinite.</u>	
Fig. 3.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 1. Vieux 2 de Marles. Etage 263. Bowette Nord. Veine Rufine. Echantillon 5. <u>Sporinite.</u>	

	Pages
<u>Planche 3</u>	268
Fig. 1.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 1. Vieux 2 de Marles. Etage 263. Bowette Nord. Veine Rosalie. Echantillon 1. <u>Cutinite.</u>	
Fig. 2.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 1. Vieux 2 de Marles. Etage 263. Bowette Nord. Veine Rufine. Echantillon 15. <u>Cutinite.</u>	
Fig. 3.- Groupe de Valenciennes. Prélèvement 19. Fosse Cuvinot. Etage 420. Recoupage 3e Série, Couchant Sud. 20e veine. Echantillon 4. <u>Micri- nite fine et Résinite.</u>	
<u>Planche 4</u>	269
Fig. 1.- Groupe de Valenciennes. Prélèvement 18. Fosse Cuvinot. Etage 360. Recoupage 5e Série, Couchant Sud issu de la Bowette vers Thiers. 19e veine. Echantillon 3. <u>Semifusinite et Micrinite fine.</u>	
Fig. 2.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 5. Siège 4 de Bruay. Etage 706. Bowette NW du 6 au 4. Veine 17bis. Echantillon 5. <u>Sporinite et Micrinite fine.</u>	
Fig. 3.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 5. Siège 4 de Bruay. Etage 706. Bowette NW du 6 au 4. 17e veine. Echantillon 1. <u>Sclérotinite.</u>	
Fig. 4.- Groupe de Valenciennes. Prélèvement 18. Fosse Cuvinot. Etage 360. Recoupage 5e Série, Couchant Sud issu de la bowette vers Thiers. Passée 554. Echantillon 1. <u>Sclérotinite.</u>	
<u>Planche 5</u>	270
Fig. 1.- Groupe de Valenciennes. Prélèvement 19. Fosse Cuvinot. Etage 420. Recoupage 3e Série, Couchant Sud. 19e veine. Echantillon 3. <u>Semi- fusinite.</u>	

Fig. 2.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 5. Siège 4 de Bruay. Etage 706.
Bowette NW du 6 au 4. 17e veine. Echantillon 1. Aspect d'ensemble.

Planche 6 271

Fig. 1.- Groupe de Lens-Liévin. Prélèvement 12. Siège 12 de Lens. Bowette
12106. Echantillon 197. Semifusinite.

Fig. 2.- Groupe de Valenciennes. Prélèvement 19. Fosse Cuvinot. Etage 420.
Recoupage 3e Série, Couchant Sud. 19e Veine. Echantillon 3. Fusi-
nite.

Fig. 3.- Groupe de Lens-Liévin. Prélèvement 10. Siège 19 de Lens. Etage 475.
Bowette 1909. Echantillon 183. Fusinite. Structure étoilée.

Planche 7 272

Fig. 1.- Groupe de Lens-Liévin. Prélèvement 11. Siège 13 de Lens. V C 10,
bowette 180434. Cinq-Sillons. Semifusinite.

Fig. 2 et 3.- Groupe d'Auchel-Bruay. Prélèvement 2. Fosse 2 d'Auchel.
Echantillon 204 (= veine Amélie). Fusinite.

LEXIQUE PETROGRAPHIQUE SOMMAIRE

(Système STOPES-HEERLEN)

ABREVIATIONS

Co	Collinite
Ct	Cutinite
E	Exinite
F	Fusinite
HV	Microdureté Vickers
I	Inertinite
IG	Indice de gonflement
LR	Lumière réfléchie
LT	Lumière transmise
M	Matières minérales
Mf	Micrinite fine
Mm	Micrinite massive
MV	Matières volatiles
PR	Pouvoir réflecteur
PRM	Pouvoir réflecteur maximal
PRU	Pouvoir réflecteur usuel ou moyen
Sf	Semifusinite
Sp	Sporinite
Te	Télinite
V	Vitrinite

ALGINITE

Les algues microscopiques fossiles constituent l'alginite. En LR, la teinte de ce macéral est plus faible que celle de la vitrinite. De ce fait, en observant des lames minces en microscopie lumineuse, on discerne mieux l'alginite. C'est le macéral constitutif des bogheads.

BOGHEAD

Charbon sapropélique brun-noir non lité principalement constitué d'alginate.

Synonyme : torbanite.

CANNEL-COAL

Charbon sapropélique à reflet gras, non lité principalement constitué de spores.

Synonyme : gayet.

CLARAIN (v. Vitrain) = Houille semi-brillante

On désigne par le terme clarain tous les lits ou lentilles présentant un aspect intermédiaire entre celui du vitrain et celui du durain. Il est constitué de bandes minces (quelques millimètres) brillantes (vitrain) et mates (durain) interstratifiées. C'est le composant le plus fréquent et le plus abondant des charbons humiques. Les débris végétaux y sont moins abondants que dans le durain et pour cette raison le clarain présente souvent des fissures assez larges.

COLLINITE

La structure de ce composant qui rappelle celle de la colle durcie lui a valu son nom. Elle est également appelée pâte, gelée ou substance fondamentale. Elle constitue généralement le ciment amorphe des corps figurés mais elle peut aussi se présenter en lentilles pures à cassure conchoïdale. L'examen au microscope électronique a montré que la collinite avait une structure granulaire. C'est le macéral le plus abondant des houilles carbonifères.

CUTINITE

Les cuticules plus ou moins épaisses des feuilles constituent la cutinite. La paroi externe est généralement lisse tandis que la paroi interne montre souvent des denticules correspondant aux restes du parenchyme. De plus, le bord est anguleux de sorte qu'aucune confusion ne peut être faite avec la sporinite.

DURAIN (v. Vitrain) = Houille mate

Ce terme désigne les lits caractérisés par leur éclat mat à gras et leur couleur grise à brun noirâtre. Les lits de durain sont particulièrement cohérents et les fentes qui le parcourent y sont très fines et assez rares. Les cassures sont grenues et donnent naissance à des surfaces rugueuses. Microscopiquement, le durain correspond à un charbon très riche en débris végétaux cimentés par une collinite peu abondante.

EXINITE (v. Groupe de macéraux)

Synonyme : Liptinite.

FUSAIN (v. Vitrain) = Houille mate fibreuse

C'est le seul lithotype parfaitement défini. Il est facilement reconnaissable grâce à la similitude d'aspect qu'il présente avec le charbon de bois artificiel. Il a une couleur noire à gris-noir et un éclat soyeux. Il a une structure fibreuse et il est très friable. C'est le seul constituant qui tache les doigts. Il est parfois imprégné de matières minérales qui lui confèrent une grande cohésion. Il apparaît dans les veines en lits et lentilles de 1 à plusieurs centimètres d'épaisseur et de 15 à 20 centimètres de largeur. Les lentilles peuvent atteindre 1 à plusieurs mètres de longueur. Microscopiquement, le fusain est constitué de menus fragments (1 à quelques mm) de tissus ligneux juxtaposés diversement évolués et présentant des aspects botaniques différents.

FUSINITE

Elle est formée par les membranes cellulaires des tissus ligneux bien conservés. La fusinite diffère de la télinite non seulement par la netteté des contours mais aussi par son fort relief et sa teinte blanche à jaune paille. La désagrégation de la fusinite conduit à la formation de structure étoilée et à celle de micrinite massive (voir plus loin). Les cavités cellulaires sont vides ou remplies de matières minérales diverses.

GROUPE DE MACÉRAUX

Selon leurs propriétés pétrographiques et technologiques, les macéraux sont rassemblés en trois groupes. Ce sont la vitrinite (symbole V) l'exinite ou liptinite (symbole E) et l'inertinite (symbole I).

Macéraux		Groupes de macéraux
Collinite	}	Vitrinite (V)
Télinite		
Sporinite	}	Exinite ou (E) Liptinite
Cutinite		
Alginite		
Résinite		
Sclérotinite	}	Inertinite (I)
Fusinite		
Semifusinite		
Micrinite (fine (massive)		

INERTINITE (v. Groupe de macéraux).

LITHOTYPE

Ce terme désigne les lits macroscopiquement reconnaissables des charbons humiques. Quatre lithotypes sont définis. Ce sont le clarain, le durain, le fusain et le vitrain.

MACERAL

Le macéral est un constituant microscopique élémentaire du charbon, par analogie avec le minéral d'une roche (v. Groupe de macéraux).

MICRINITE

Elle est constituée par de petits corpuscules anguleux ou arrondis ou des grains de petite dimension (un micron à quelques dizaines de microns) et dont la teinte et le relief sont identiques à ceux de la fusinite. On distingue une micrinite fine et une micrinite massive. Cette véritable pulpe

végétale résulte de l'amenuisement de tissus ligneux dont le morcellement et la désagrégation produisent la micrinite massive. La micrinite fine résulte, elle, de l'émiettement et de la pulvérisation des membranes secondaires de trachéïde, ou de tissu rapporté à du sclérenchyme, ou bien elle représente les restes fossiles des contenus de spores au voisinage desquelles on la rencontre fréquemment. La micrinite fine peut s'altérer et prendre un aspect floconneux parfois désigné sous le nom de macrinite. L'accumulation différentielle de microspores et de micrinite massive à l'intérieur des mégaspores constitue un critère de polarité sûr. La micrinite massive plus dense que les microspores marque la base de la veine. L'examen au microscope électronique a permis de préciser les dimensions et les aspects des grains de micrinite fine.

RANG

"Le rang désigne le stade atteint par le charbon au cours de la houillification" (C.I.P.C., 1963).

RESINITE

La résinite correspond à des contenus cellulaires fossilisés, rattachés à des résines ou à des cires. Ces matériels apparaissent soit en place dans le tissu sécréteur originel, soit en amas isolés ou en imprégnations diffuses.

La sporinite, la cutinite et la résinite présentent une teinte gris foncé à noire.

SCLEROTINITE

Ce terme est employé pour désigner tous les corpuscules durs présentant sur les surfaces polies un fort relief et une teinte gris clair à blanche. On y rattache les plectenchymes, les sclérotés et parfois les spores de champignons. Les corps rapportés à de véritables sclérotés ont été classés en 8 genres principaux; l'étude systématique de ce macéral pourrait apporter des résultats intéressants dans les corrélations des veines.

SEMIFUSINITE

Elle représente un état gélifié de la fusinite se traduisant par un épaississement centrifuge ou centripète des parois cellulaires. Elle est caractérisée par un relief et une teinte intermédiaires entre ceux de la télinite et de la fusinite de la même houille. Dans les charbons très houillifiés les contours estompés de ce constituant sont généralement restitués grâce à un examen en lumière polarisée.

SPORINITE

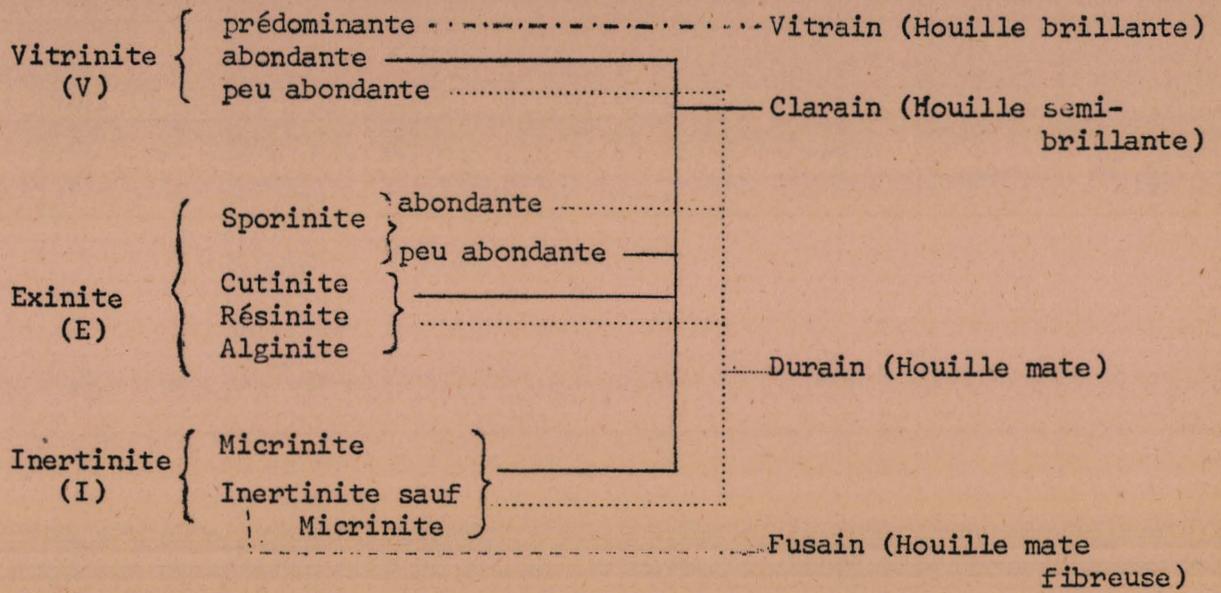
C'est le plus foncé des macéraux. Il est constitué par les membranes externes (exines) des spores et des pollens. Sa forme générale est celle de sacs discoïdes aplatis dans le plan de stratification et dont l'ornementation dépend de l'espèce végétale originelle. Les détails d'ornementation ne sont d'ailleurs bien visibles qu'après dégagement de la spore ce qui est possible dans le cas des houilles peu évoluées. De telles études appartiennent au domaine de la palynologie.

TELINITE

On utilise ce terme pour désigner des membranes cellulaires présentant la teinte grise et le relief de la collinite. Les contours de la télinite sont parfois très estompés. Ils sont d'autant mieux visibles lorsque les lumens contiennent d'autres composants comme la résinite diffuse et la micrinite fine.

VITRAIN = Houille brillante

Ce terme désigne les lits et les lentilles peu épaisses constituées par une houille brillante. L'examen microscopique montre que ce lithotype ne contient que peu ou pas de débris végétaux. Il correspond à la vitrinite.



VITRINITE (v. Groupe de macéraux).



TABLE DES MATIERES

	Page
Sommaire	
Avant-propos	
Historique	1
PREMIERE PARTIE	
Généralités	
CHAPITRE PREMIER.- LE CADRE GEOLOGIQUE	12
I. LES LIMITES DE L'ETUDE	13
II. LES DONNEES GEOLOGIQUES	18
1. Position géométrique des prélèvements	19
A- la région orientale du Bassin	20
B- la région occidentale du Bassin	21
2. Le charbon dans son contexte pétrographique	24
3. Le cadre paléogéographique	28
III. LES PROBLEMES ABORDES	30
CHAPITRE DEUXIEME.- NOMENCLATURES ET METHODOLOGIE	
I. NOMENCLATURES	32
1. Choix d'une nomenclature	32

	Page
2. Remarques préliminaires	34
A - L'analyse des microlithotypes	34
B - La reconnaissance des macéraux et des minéraux	36
1. Collinite	36
2. Télinite	37
3. Sporinite	38
4. Cutinite	38
5. Résinite	39
6. Micrinite	40
7. Sclérotinite	45
8. Fusinite	46
9. Semifusinite	46
10. Matières minérales	49
C - Les renseignements complémentaires	49
II. METHODOLOGIE	50
1. Le mode de prélèvement	50
2. Les travaux préparatoires au Laboratoire	52
- Broyage et tamisage	54
- Homogénéisation du broyat	55
- Enrobage	55
- Aplanissement	56
- Polissage	57
3. Les techniques d'étude	61
A - Comptage des macéraux	61
B - Microdureté Vickers	61
C - Mesure du pouvoir réflecteur	62
D - Diascopie infra-rouge	65
E - Etude statistique sur ordinateur	66
F - Caractères chimiques	66

Etude pétrologique de veines de houille du Bassin du
Nord et du Pas-de-Calais

CHAPITRE PREMIER.- ANALYSES MACERALES	67
I. REPRESENTATION DES RESULTATS	67
1. Composition macérale. Les histogrammes	67
2. Composition en groupes de macéraux	69
A - Diagramme horizontal	69
B - Diagramme triangulaire	72
C - Représentation des variations verticales des veines à chaque point de prélèvement	72
II. VALEUR DE LA METHODE	74
1. Appréciation du caractère subjectif lors du comp- tage des macéraux	74
2. Nombre de points à compter et leur espacement	75
3. Echantillon moyen et moyenne arithmétique des échan- tillons	85
III. LES COMPOSITIONS MACERALES DES VEINES ETUDIEES	85
1. Composition pétrographique des veines de houilles prélevées au voisinage du Tonstein Patrice sur toute l'étendue du bassin	87
A - Variations des teneurs en Vitrinite, Exinite Inertinite	87
1. Variations globales	87
2. Variations verticales et latérales	88
a. dans la région occidentale du bassin ..	88
b. dans la région centrale du bassin	91
c. dans la région orientale du bassin	95
d. conclusions	95

	Page
B - Composition macérale	96
1. Variations verticales	97
a. dans la région occidentale du bassin .	97
b. dans la région centrale du bassin	99
c. dans la région orientale du bassin ...	101
d. comparaisons des dépôts situés de part et d'autre du Tonstein Patrice	102
e. conclusions	103
2. Variations latérales	103
a. les macéraux pris séparément	106
- la collinite	106
- la sporinite	108
- la micrinite fine	110
- la micrinite massive	112
- la semifusinite	114
- la fusinite	116
- conclusions	116
b. les corrélations entre les macéraux ..	118
c. les variations latérales de faciès ...	120
- la veine Rosalie	120
- la veine Amélie	121
- la veine Rufine	123
C - Conclusions générales	128
2. Composition pétrographique des veines Jeanne et Emi- lie du groupe de Lens-Liévin	129
A - Variations des teneurs en Vitrinite, Exinite et In ertinite	132
1. Variations globales	132
2. Variations verticales et latérales	132
B - Composition macérale	135
1. Variations verticales	135
2. Variations latérales	137

3. Composition pétrographique des veines de houilles rencontrées dans le sondage Loos 5 (Groupe de Lens-Liévin).....	140
IV. CONCLUSIONS DU CHAPITRE PREMIER	141
CHAPITRE DEUXIEME.- LA DETERMINATION DU RANG	146
I. TENEURS EN MATIERES VOLATILES ET INDICE DE GONFLEMENT ...	148
1. Etude des veines voisines du Tonstein Patrice	149
2. Les houilles rencontrées en sondage et les veines Jeanne et Emilie du groupe de Lens-Liévin	156
3. Conclusions	167
II. LA MICRODURETE VICKERS DE LA COLLINITE	170
1. Microdureté et rang	170
2. Remarques sur les relations pouvant exister entre la microdureté et la structure d'une houille	176
A - Microdureté et température de carbonisation ..	176
B - Résultats apportés par l'étude des charbons aux Rayons X	176
C - Essai d'interprétation des faits d'observation	178
3. Conclusions	181
III. LE POUVOIR REFLECTEUR DE LA COLLINITE	181
1. Généralités	181
2. Les résultats des mesures photométriques	184
A - Variations des valeurs du pouvoir réflecteur dans les échantillons	185
1. Aspect graphique des réflectogrammes	185
2. Relations entre le PRU et le PRM calculés et déterminés graphiquement	186
3. La dispersion des résultats	186
B - Variations des valeurs du pouvoir réflecteur dans l'épaisseur des veines et passées	187
C - Pouvoir réflecteur et composition macérale ...	192
D - Pouvoir réflecteur et teneurs en matières volatiles	194

	Page
E - Pouvoir réflecteur et microdureté Vickers de la collinite	194
F - Pouvoir réflecteur et profondeur des lieux de prélèvement	195
1. Les houilles du sondage Loos 5	195
2. Les veines voisines du Tonstein Patrice ...	197
a. Les charbons de la région occidentale du bassin	198
b. Les charbons de la région centrale du bassin	200
c. Les charbons de la région orientale du bassin	201
3. Les veines Jeanne et Emilie du groupe de Lens-Liévin	205
IV. EXAMEN DES HOUILLES EN DIASCOPIE INFRA-ROUGE	210
V. RECHERCHE SUR ORDINATEUR DE TYPES PETROGRAPHIQUES DE HOUILLE	214
1. Etude de la fréquence de la collinite	214
2. Etude de la fréquence de la télinite	214
3. Etude de la fréquence de la sporinite	216
4. Etude de la fréquence de la cutinite	216
5. Etude de la fréquence de la résinite	216
6. Etude de la fréquence des micrinites	216
7. Etude de la fréquence de la sclérotinite	218
8. Etude de la fréquence des tissus ligneux	218
VI. CONCLUSIONS DU CHAPITRE DEUXIEME	219
CONCLUSIONS GENERALES	221
Liste bibliographique	229
Planches photographiques	266
Tables et Index	
Listes des figures	I
Tom I	I
Tom II (Annexe)	VI
Liste des tableaux	XX
Liste des planches photographiques	XXII
Lexique petrographique sommaire	XXV
Table des matières	XXXII



Imprimerie-Coopérative de l'A.G.E.L.

