

50376
1985

LILLE 1985 — n° d'ordre 1264

215

THESE présentée à l'Université des Sciences
et Techniques de Lille
pour obtenir le titre de
DOCTEUR DE TROISIEME CYCLE
(mention Géologie Appliquée)

50376
1985
215

par CHEONG Tae-Jin

**CONTRIBUTION A L'ETUDE
PETROLOGIQUE DE MATIERES ORGANIQUES
DU NORD DE LA FRANCE**



*soutenue le 13 juin 1985 devant la Commission
d'examen*

<i>MM.</i>	<i>M. WATERLOT</i>	<i>Président</i>
	<i>E. MERIAUX</i>	<i>Rapporteur</i>
	<i>B. CLEMENT</i>	} <i>Examineurs</i>
	<i>R. NOEL</i>	
	<i>D. VETTER</i>	

Travail effectué au Laboratoire de Chimie Appliquée
et des Matériaux de l'U.E.R. de Sciences Exactes
et Naturelles, au Laboratoire des Matériaux
de l'Université de Picardie à Amiens et au Laboratoire
de Géologie Régionale de l'U.E.R. des Sciences
de la Terre de l'Université des Sciences et Techniques
de Lille.

AVANT-PROPOS

J'ai pu entreprendre ce travail grâce à l'obligeance de l'Institut Coréen de l'Energie et des Ressources. Il m'est tout particulièrement agréable d'exprimer ici ma très vive gratitude et mes plus vifs remerciements pour la compréhension et la confiance dont l'Institut a fait preuve à mon égard.

J'exprime toute ma reconnaissance au Centre International des Etudiants et Stagiaires qui par son aide matérielle m'a permis de perfectionner ma formation non seulement dans l'élaboration de ce mémoire mais encore en facilitant grandement ma participation à des colloques et des réunions de spécialistes auprès desquels j'ai beaucoup appris.

En me proposant le sujet de ce travail, Monsieur E. MERIAUX, Professeur des Universités, Directeur de l'Institut Universitaire de Technologie m'a permis de découvrir un domaine pour moi jusqu'alors inconnu. Malgré ses lourdes charges administratives il a bien voulu diriger mes recherches. Pour ses encouragements, ses critiques, ses conseils je tiens à lui exprimer ma respectueuse reconnaissance.

Je souhaite également témoigner ma gratitude à M. M. WATERLOT, Professeur des Universités, Directeur de l'U.E.R. des Sciences de la Terre de l'Université de Lille I, et à MM. B. Clément et R. Noël respectivement Maître de Conférences et Professeur associé à l'U.E.R. des Sciences de la Terre de l'Université de Lille I, qui ont bien voulu participer au jury de soutenance.

L'attachement de M. VETTER, Géologue honoraire des Charbonnages de France, co-directeur de la RCP 642 (CNRS), pour la pétrographie des combustibles solides et plus particulièrement à la technique de l'oxydation ménagée des charbons dans un four à plasma m'a incité à réserver à cette méthode d'étude particulière une place privilégiée. Qu'il me soit permis d'exprimer à M. VETTER mes plus vifs remerciements.

Je dois à l'obligeance de M. J. TUDO, Professeur des Universités, d'avoir pu disposer du matériel du laboratoire de chimie appliquée et des matériaux de l'UER des Sciences Exactes et Naturelles. Pour l'accueil enthousiaste et la sollicitude sans égale qu'il m'a réservés, je tiens à

lui apporter le témoignage de ma très respectueuse reconnaissance.

J'ai pu grâce à l'obligeance de M. J. BOINET, Maître-Assistant au département Génie Civil de l'Institut Universitaire de Technologie d'Amiens, soumettre tous les résultats mis à ma disposition à des analyses sur ordinateur. Il n'a pas ménagé son temps pour résoudre les problèmes de corrélations et de représentation que je lui soumettais. Je suis heureux de lui adresser mes remerciements les plus vifs.

Une grande partie du matériel étudié dans ce mémoire, les documents, plans et analyses ont été mis à ma disposition par le Service géologique central des Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais à qui j'adresse l'expression de ma très profonde gratitude.

J'ai encore pu bénéficier de l'aide et de la collaboration de chercheurs qui comme moi ont fréquenté le laboratoire de géologie régionale de l'UER des Sciences de la Terre de l'Université de Lille I. Je pense tout particulièrement à Mme Cl. BERQUER qui non seulement m'a transmis son savoir-faire sur les mesures de pouvoir réflecteur mais encore m'a permis d'utiliser les résultats qu'elle avait elle-même obtenus sur des combustibles de Montceau-les-Mines. M. C. DURMISHI a lui aussi mis à ma disposition les analyses pétrographiques des lignites brillants du bassin de Tepelene (Albanie). J'éprouve le plus grand plaisir à leur exprimer ici ma plus profonde gratitude pour leur contribution à l'élaboration de ce travail.

Mme M.J. WARIN a assuré avec la plus grande conscience professionnelle la dactylographie du texte. M. P. CARROUILLE a mis tout son talent et sa minutie pour la réalisation des planches photographiques. MM. M. BRONQUART et P. ACCART ont procédé à l'impression de ce mémoire avec toute la célérité, le soin et le zèle qu'on leur connaît. MM. J. CADEAU, J. CRAMPON, F. DEPREZ, Cl. GILBERT, G. GRILLY et A. VIESIER n'ont pas ménagé leur peine pour équiper le laboratoire des matériaux de l'Institut Universitaire de Technologie et pour me rendre le travail plus aisé. Tous m'ont toujours réservé un accueil des plus chaleureux et je les en remercie très vivement.

Enfin, je voudrai rendre hommage à mes parents, à mon frère sans l'aide desquels je n'aurai pu mener à bien, si loin de chez moi, les études que je souhaitais, et à ma femme Hee-Seung qui m'a apporté son appui moral et a partagé avec moi toutes les difficultés que j'ai rencontrées.

TABLE DES MATIERES

	Pages
AVANT PROPOS.....	1
TABLE DES MATIERES.....	3
INTRODUCTION.....	5
<u>CHAPITRE I</u> : ETUDE DES COMBUSTIBLES PRELEVES EN SONDAGE DANS LE BASSIN HOUILLER DU NORD-PAS-DE-CALAIS.....	7
I. GENERALITES.....	9
I.1. PREPARATION DES ECHANTILLONS.....	9
I.2. RECONNAISSANCE DES MACERAUX.....	11
I.2.1. Exinite.....	12
I.2.2. Vitrinite.....	12
I.2.3. Inertinite.....	13
I.3. PARAMETRE DE RANG.....	14
I.4. ANALYSE MACERALE.....	14
I.5. OXYDATION POUR DES ETUDES MACERALES.....	16
I.6. MESURE DU POUVOIR REFLECTEUR.....	17
II. RESULTATS.....	20
II.1. ANALYSES MACERALES.....	20
II.2. ETUDES MACERALES SUR SURFACE ATTAQUEE.....	21
II.2.1. Choix des combustibles.....	21
II.2.2. Comportement des macéraux.....	22
II.3. POUVOIR REFLECTEUR.....	27
II.3.1. Relation entre le pouvoir réflecteur et la profondeur.....	27
II.3.2. Influence de la tectonique sur le pouvoir réflecteur..	35
II.3.3. Relation entre la composition macérale et MV et PR....	40
III. CONCLUSIONS.....	48
<u>CHAPITRE II</u> : ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE DISPERSEE DANS UNE PARTIE DU JURASSIQUE DU BOULONNAIS.....	50
I. GENERALITES.....	52
I.1. PREPARATION DES ECHANTILLONS.....	53
I.1.1. Concentration de la matière organique dispersée (M.O.D.).....	53
I.1.1.1. Mode préparatoire.....	54
I.1.1.2. Mode opératoire.....	55

I.1.2. Enrobage.....	56
I.1.3. Polissage.....	56
I.2. CLASSIFICATION DES CONSTITUANTS.....	57
I.3. MESURE DU POUVOIR REFLECTEUR.....	57
II. RESULTATS.....	57
II.1. ANALYSE DES CONSTITUANTS.....	58
II.2. POUVOIR REFLECTEUR.....	59
III. CONCLUSIONS.....	63
BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE.....	64
PLANCHES I à XII.....	68 à 91
LISTE DES FIGURES, DES TABLEAUX ET DES ANNEXES.....	92
ANNEXES I.....	94
II.....	98
III.....	102
RESUME ET MOTS CLES.....	4 ^o page de couverture

INTRODUCTION

Les matières organiques, objets de notre étude, proviennent du Nord de la France. Elles appartiennent à deux catégories très différentes par leur gisement, leur âge et leur faciès respectifs.

Des charbons d'âge namurien à westphalien C prélevés en sondages constituent la première catégorie. Les points de prélèvements sont les suivants :

- Sondage de Méricourt 30

$$x = 637,697$$

$$y = 298,944$$

$$z = + 58,30$$

Partie supérieure : 895,35 - 935,45 m

Le Tonstein Hermance a été repéré à 895,12 m. Il s'agit de Westphalien C et plus précisément du Faisceau de Six-Sillons renversé.

Partie inférieure : 942,60 - 984,95 m

Le Tonstein Prudence a été signalé à 943,90 m. Les combustibles appartiennent donc au Faisceau d'Ernestine d'âge westphalien C,

- Sondage Mazingarbe I

$$x = 625,565$$

$$y = 308,563$$

$$z = + 36,76$$

Un seul échantillon a été prélevé de la base du faisceau de Six-Sillons du Westphalien C (453,70 m),

- Sondage Loos 6

$$x = 632,348$$

$$y = 305,583$$

$$z = + 63$$

Ce sondage comprend des charbons de la partie inférieure du faisceau de Six-Sillons du Westphalien C (296,5 m), du faisceau de Pouilleuse (377,50 - 470,40 m) et du faisceau de Meunière (553,05 m - 640,90 m) du Westphalien B,

X - Sondage Rutoire 2

$$x = 630,034$$

$$y = 308,211$$

$$z = + 42,03$$

Il s'agit de Westphalien A. 2 échantillons ont été prélevés à proximité du niveau marin de Poissonnière (1087,30 m) et dans le faisceau de Vicoigne (1153,00 m et 1153,10 m),

2 - Sondage N° 19 de Dourges

$$x = 645,422$$

$$y = 304,723$$

$$z = + 27,31$$

Les échantillons ont été prélevés à la profondeur de 914,40 m (80 m sous Poissonnière, Westphalien A) et à 1232,60 m (173 m sous Laure, Namurien).

Nous avons pour but d'étudier les macéraux par l'attaque oxydante et la relation entre la tectonique et les propriétés optiques des charbons d'une part. D'autre part, la relation entre la composition macérale et certains paramètres du rang tels que les matières volatiles et le pouvoir réflecteur est étudiée statistiquement sur 612 échantillons provenant respectivement du bassin albanais de Tepelene (67 échantillons), du gisement de Montceau-les-Mines (61 échantillons) et du bassin houiller du Nord-Pas-de-Calais.

Des matières organiques dispersées provenant de la falaise entre Boulogne et le Cap de la Crèche constituent la deuxième catégorie. Leur âge est kimmeridgien supérieur à portlandien inférieur. Les constituants des matières organiques et leurs propriétés optiques sont déterminés.

Dans un premier chapitre nous étudierons les combustibles prélevés en sondages dans le bassin houiller du Nord-Pas-de-Calais.

Le deuxième chapitre sera consacré à l'étude de la matière organique dispersée dans le Kimméridgien supérieur et le Portlandien inférieur du Boulonnais.

CHAPITRE I

ETUDE DES COMBUSTIBLES PRELEVES
EN SONDAGES DANS LE BASSIN HOULLER
DU NORD - PAS-DE-CALAIS

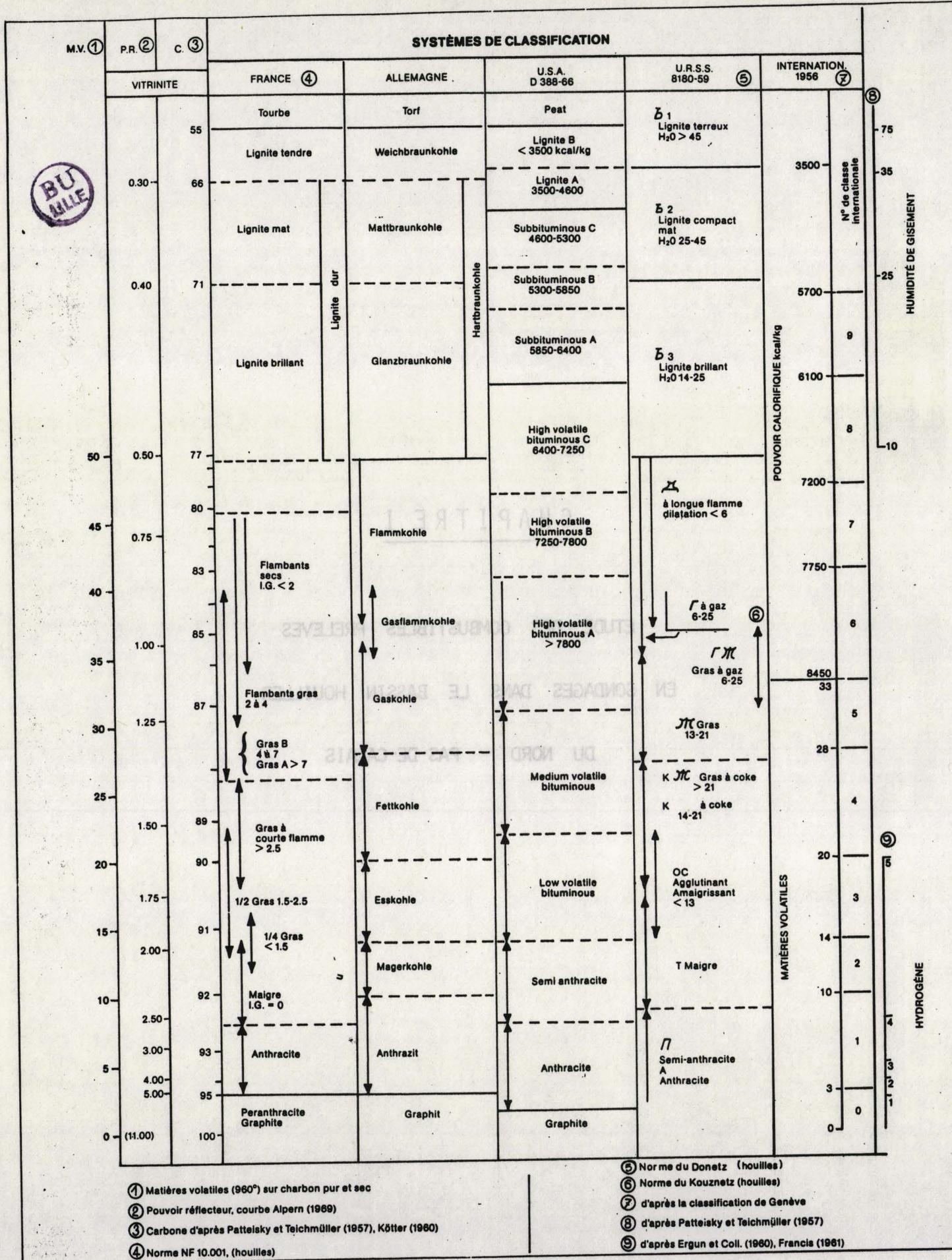


Tableau 1. - Les systèmes de classification des charbons (d'après Alpern, 1976).

Tableau 2. Les macéraux des houilles (in I.C.C.P., 1971)

GROUPES DE MACERAUX	MACERAUX	TYPES DE MACERAUX *	VARIETES DE MACERAUX *	CRYPTOMACERAUX
Vitrinite	Télinite Collinite Vitrodétrinite	Télocollinite Gélocollinite Desmocollinite Corpocollinite	Cordaitotélinite Fungotélinite Xylotélinite	Cryptotélinite Cryptocorpocollinite
Exinite	Sporinite Cutinite Résinite Alginite Liptodétrinite		Tenuisporinite Crassisporinite Microsporinite Macrosporinite	Cryptoexosporinite Cryptointosporinite
Inertinite	Micrinite Macrinite Semi-fusinite Fusinite Sclérotinite Inertodétrinite	Pyrofusinite Dégradofusinite	Plectenchyminite Corposclérotinite Pseudocorposclérotinite	

* incomplets, peuvent être multipliés à volonté.

ICCP

CHAPITRE I

ÉTUDE DES COMBUSTIBLES PRÉLEVÉS EN SONDAGES DANS LE BASSIN HOUILLER DU NORD-PAS-DE-CALAIS

I. GENERALITES

Le charbon est une roche sédimentaire, combustible, formée à partir de débris végétaux dont la sédimentation s'est effectuée dans un bassin ouvert sur la mer de type paralic comme le bassin houiller du Nord-Pas-de-Calais, ou dans un bassin intracontinental de type limnique. Sous l'effet de la subsidence les sédiments ont été enfouis à des profondeurs plus ou moins importantes.

Les matières végétales subissent des transformations biologiques lors du dépôt, puis chimiques et physiques sous les effets de la température et/ou de la pression des sédiments au cours des temps géologiques. Ces transformations se manifestent par des modifications par exemple des teneurs en carbone, hydrogène et matières volatiles, humidité, propriétés optiques, dureté, densité, ... Le stade atteint par le charbon à l'issue de cette transformation est appelé RANG. Le classement des charbons en tourbe, lignite, houille et anthracite, s'appuie sur certains des paramètres cités ci-dessus (tabl. 1).

Pour déterminer le rang, toutes les modifications chimiques et physiques, peuvent théoriquement être retenues comme paramètres, mais actuellement c'est la réflectance qui est la plus utilisée.

I.1. PREPARATION DES ECHANTILLONS

Dans cette étude, pour chaque prélèvement, j'ai préparé un échantillon moyen destiné à l'analyse macérale et 2 échantillons en blocs pour l'attaque chimique et la mesure de pouvoir réflecteur. J'ai scrupuleusement suivi la procédure décrite dans le lexique international de pétrographie des charbons (I.C.C.P., 1963).

La confection d'un échantillon moyen nécessite les opérations suivantes : broyage et tamisage, homogénéisation, enrobage, aplanissement et polissage.

Le lexique prescrit que le charbon soit broyé entre 750 et 100 micromètres. Pour éviter d'obtenir des grains inférieurs à 100 micromètres, le broyage a été effectué dans un moulin à café actionné à la main (Mériaux, 1969) en alternant le broyage et le tamisage. Le produit du tamisage est homogénéisé sur une feuille de papier. On fait rouler le produit en tous sens en soulevant les coins de la feuille. Le produit homogénéisé est mis dans un moule pour enrobage. Le lexique préconise de mélanger 5 grammes de charbon à 10 grammes de résine synthétique. Après durcissement, on coupe l'échantillon en deux parties. Une partie est mise en réserve. L'autre est aplanie sous l'eau sur des papiers au carborundum 240A, 400A et 600A. On termine alors le dégrossissage avec une potée d'opticien sur une plaque de verre dépoli. Le polissage s'effectue d'abord sur le disque garni d'un drap de billard avec l'oxyde de chrome puis sur le disque garni de velours de coton avec un précipité d'alumine. Après chaque opération l'échantillon est soigneusement lavé à l'eau et finalement à l'eau distillée.

La préparation d'un échantillon en bloc s'effectue presque selon le même processus à partir de l'aplanissement. Dans certains cas, un polissage sans relief est obtenu sur un disque en bois de tilleul.

I.2. RECONNAISSANCE DES MACÉRAUX

Les constituants élémentaires des charbons sont appelés MACÉRAUX. Comme les assemblages de minéraux constituent les roches, les macéraux sont formés des différents organes ou tissus de plantes. Les macéraux évoluent et leur nombre diminue avec le degré de houillification.

En lumière réfléchie, les macéraux peuvent être identifiés par leur pouvoir réflecteur, forme, structure, couleur, anisotropie, réflexion interne, mesure de rémission, luminescence, dureté et micro-dureté. En lumière transmise, la forme et la structure, l'absorption et la luminescence constituent des critères de reconnaissance. Le pouvoir réflecteur est le paramètre le plus utilisé quelque soit le rang.

C'est ainsi que les différences de pouvoir réflecteur permettent de classer les macéraux en trois groupes (tabl. 2) :

Exinite a pouvoir réflecteur le moins élevé,
Vitrinite a pouvoir réflecteur moyen,
Inertinite a pouvoir réflecteur le plus élevé.

I.2.1. Exinite

Elle est formée principalement par l'exine des spores et des pollens constituant une membrane protectrice très résistante, les cutines, les subérines, les résines, les cires, les corps gras, et l'huile d'origine végétale.

Son pouvoir réflecteur est inférieur à celui de la vitrinite dans les charbons de bas rang et atteint 1,6 % environ. L'exinite des houilles de bas rang présente une fluorescence qui disparaît chez les charbons à coke.

On distingue :

- . La sporinite provenant de l'exine des micro (5-100 micromètres) et mégaspores,
- . La cutinite correspondant à l'épiderme cutinisé des feuilles,
- . La résinite rassemblant les cires et résines fossiles et se présentant, soit en inclusions cellulaires dans la télinite et en remplissages de fissures, soit en imprégnations plus ou moins diffuses dans la collinite,
- . L'alginite constituant l'ensemble des algues des charbons sapropéliques,
- . La liptodétrinite correspondant aux fragments d'exinite dont la nature précise n'est pas déterminable. Récemment, l'examen en fluorescence a permis de distinguer la fluorinite, la bituminite et l'exsudatinite dans la liptodétrinite (Teichmüller, 1974).

I.2.2. Vitrinite

C'est le groupe de macéraux le plus abondant des houilles humiques et présentant une réflectance intermédiaire entre celle de l'inertinite et celle de l'exinite. En raison de son abondance elle sert de référence pour la mesure du rang des charbons.

On distingue :

. La télinite constituée par les parois cellulaires des tissus végétaux. La structure cellulaire est encore visible, les cavités étant soit vides, soit remplies d'inclusions organiques ou minérales,

. La collinite ne présente, elle, aucune structure visible dans les conditions habituelles d'observation . Parfois, on distingue la télocollinite ou tissu totalement gélifié ; la gélocollinite ou un gel pur consolidé ; la desmocollinite formée d'agrégats de détritrus fins et de gel et la corpocollinite constituée de corps ovales,

. La vitrodétrinite correspond à des micro-fragments de l'un des macéraux ci-dessus.

I.2.3. Inertinite

Le groupe se compose principalement de tissus ligneux bien conservés, gélifiés ou désagrégés, de restes de corps durs ou sclérotés et de corpuscules de très petite taille.

Ce sont :

. La fusinite : la structure cellulaire est très visible. Son pouvoir réflecteur est le plus élevé de tous les macéraux sauf dans les peranthracites où celui de la vitrinite est supérieur à celui de la fusinite. Les cavités cellulaires sont généralement vides et les parois souvent brisées. On distingue la pyrofusinite provenant de l'incendie de forêts et la dégradofusinite résultant d'une décomposition biochimique,

. La semifusinite a une réflectance plus basse que celle de la fusinite et ses cavités cellulaires sont moins ouvertes,

. La sclérotinite correspond soit à des formes de résistance des champignons soit à des pseudo-structures végétales rattachées à des entrelacements d'hyphes,

. La micrinite se présente sous la forme de minuscules granules clairs, de l'ordre du micromètre, dispersés dans la collinite ou inclus dans les cavités cellulaires de la télinite,

. La macrinite correspond au ciment clair, blanc, jaunâtre, qui enrobe souvent les microspores des lits riches en corps figurés,

. L'inertodétrinite représente l'ensemble des microfragments de parois cellulaires de fusinite et de semifusinite.

I.3. PARAMETRE DE RANG

Le rang est le stade atteint par un charbon au cours de la houillification (I.C.C.P., 1963). Nous avons vu précédemment que la carbonification se traduit par des modifications des caractères chimiques et physiques. En mesurant l'un d'entre eux il est donc possible de déterminer le rang du charbon de façon indirecte.

Parmi les nombreux paramètres à notre disposition, la teneur en matières volatiles fut utilisée pour déterminer le rang jusqu'aux environs des années soixante. Actuellement la réflectance de la vitrinite est couramment employée par les pétrographes en raison de son accroissement de façon continue avec le rang. Par ailleurs, l'abondance des plages de vitrinite nous permet d'effectuer un nombre suffisant de mesures statistiquement représentatif.

Toutefois, dans certain domaine de rang, d'autres paramètres apportent plus de précisions que la réflectance. Ainsi, par exemple, la teneur en hydrogène est-elle utilisée pour classer les anthracites et le pouvoir calorifique pour différencier les lignites.

Le tableau 1 montre l'utilisation respective de ces différents paramètres.

I.4. ANALYSE MACERALE

L'analyse macérale s'effectue, en principe, en suivant la méthode de comptage par points, applicable aussi bien aux charbons en bloc qu'aux charbons de grains. On peut réaliser le comptage en opérant avec un compteur automatique sous des grossissements de 250 à 600. On identifie et compte le macéral qui se trouve sous le point de croisement des fils du réticule. En réalité les débris les plus fins cachés par le réticule sont comptés dans le quadrant NE à proximité immédiate des fils. Le comptage de 500 points sur le charbon correspond à un écart des points et des lignes de 0,5 mm avec une précision de l'ordre de plus ou moins 2 à 3 %.

A partir des résultats des analyses macérales, on peut construire des histogrammes et des diagrammes horizontaux et triangulaires.

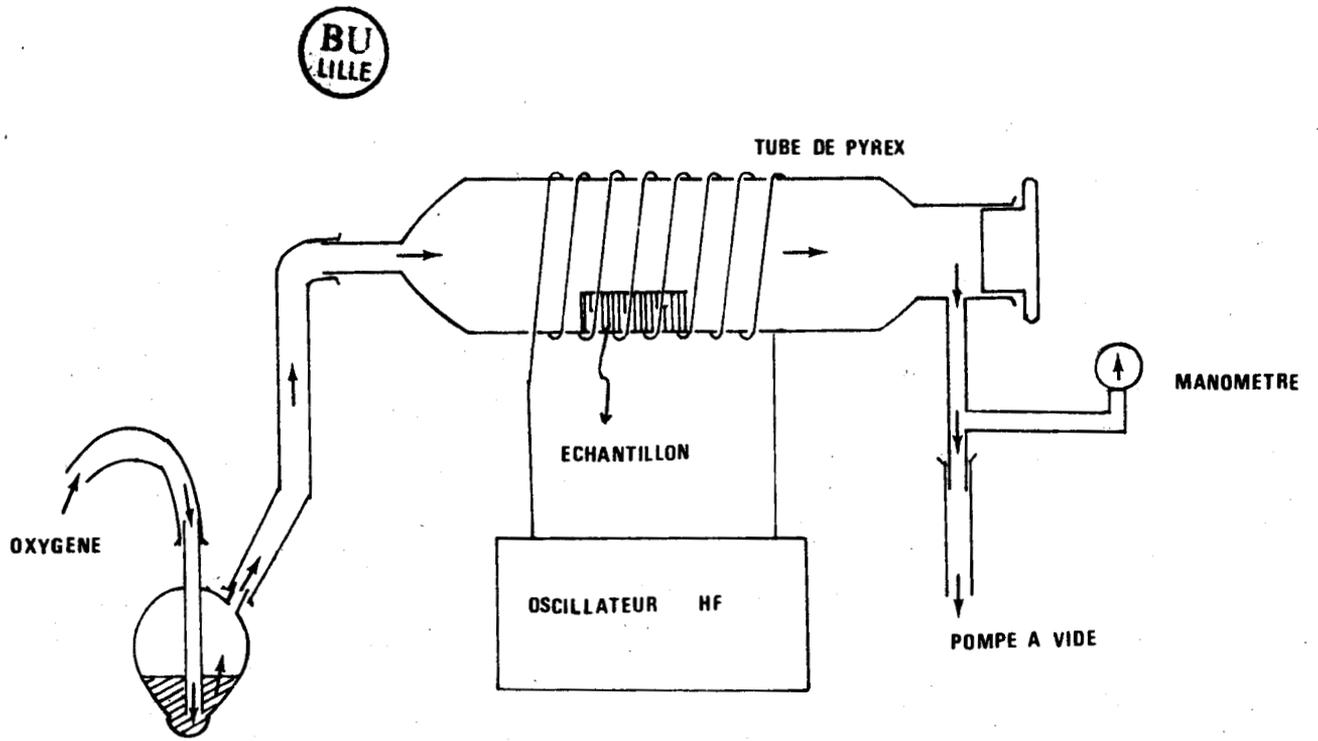


Figure 1. Schéma de four à plasma d'oxygène.

Ces représentations permettent d'étudier les variations de composition des veines, d'en suivre les variations verticales et latérales de faciès, et de déterminer les relations entre la composition pétrographique des combustibles et leurs caractères chimiques.

I.5. OXYDATION POUR DES ETUDES MACERALES

Pour révéler les contours et parfois les structures des macéraux qui ne sont pas observables par la méthode habituelle, ou pour des études macérales plus détaillées, certains ont procédé à l'attaque des surfaces polies à l'aide de substances chimiques. Ainsi Seyler (1929), Jongmans et Koopmans (1933) ont-ils utilisés les mélanges sulfo-chromiques, Kroeger (1964) le diméthylformamide, Hacquebard et al. (1967) et Mackowsky (1973) le permanganate de potassium et l'acide sulfurique.

D'autres utilisent des procédés physiques comme le rayonnement α (Stach et Dupireux, 1967).

En 1970, Delattre et al. ont trouvé que l'oxydation dans un four à plasma d'oxygène était utilisable à la pétrographie des charbons.

La méthode consiste à révéler la structure de la houille par une oxydation artificielle ménagée, ôtant une mince pellicule de carbone d'épaisseur variable selon le degré d'oxydation des macéraux.

Le four est constitué par un oscillateur H.F. monté en "push-pull" dont la "self" du circuit oscillant entoure un tube en pyrex constituant le four proprement dit (fig. 1). L'oscillateur fonctionne à une fréquence de 10 MHz environ. Une pompe à vide et une alimentation d'oxygène entretiennent dans le tube une atmosphère oxydante sous la pression de 2 mm de mercure. La pompe assure aussi l'élimination du gaz carbonique formé lors de l'oxydation de l'échantillon. L'oxygène arrive bulle par bulle à travers un tube de Maquenne avec un débit d'une bulle toutes les 2 secondes environ. La température est de l'ordre de 120 à 150° C.

L'échantillon poli selon la méthode classique doit être parfaitement sec avant d'être introduit dans le four. Selon le rang des échantillons, quelques minutes à une vingtaine de minutes de traitement sont nécessaires pour faire apparaître des contrastes accusés.

Masquant une partie de la surface polie avec une feuille d'aluminium, il est alors possible de comparer directement les macéraux oxydés et ceux qui ont été préservés.

I.6. MESURE DU POUVOIR REFLECTEUR

Le degré de houillification d'un charbon peut être déterminé par la réflexion de la vitrinite dont la mesure est effectuée sur un échantillon en bloc ou sur un échantillon moyen. Dans cette étude, j'ai mesuré la réflectance sur échantillon en bloc.

Par définition, le pouvoir réflecteur (PR) est le rapport entre l'intensité de la lumière réfléchiée par la surface polie et celle de la lumière incidente, exprimé en %. La réflectance du combustible est déterminée par comparaison avec celle d'une substance (étalon) à partir de l'équation suivante :

$$RV = \frac{AV}{AS \times RS}$$

avec :

RV = réflectance de la vitrinite,

RS = réflectance de l'étalon,

AV = déviation du galvanomètre ou de l'enregistreur lors de la mesure de la vitrinite,

AS = déviation du galvanomètre lors de la mesure sur l'étalon.

Pour la mesure de pouvoir réflecteur, l'appareillage comprend un microscope par réflexion, un photomultiplicateur, un système enregistreur et des appareils stabilisateurs de courant.

La mesure est effectuée en lumière monochromatique (546 nm) et à immersion dans l'huile d'indice $n = 1.515$ à 20°C et sur des surfaces sèches. Pour déterminer le rang, on effectue 100 mesures au moins sur la collinite homogène. Toutes les 25 mesures, on vérifie l'étalonnage de l'appareil.

On peut mesurer le pouvoir réflecteur moyen (PR_{mo}) en lumière naturelle et les pouvoirs réflecteurs minimal (PR_m) et maximal (PR_M) en lumière polarisée et par rotation de la platine. A partir de ces

deux dernières valeurs, on peut aussi calculer le pouvoir réflecteur moyen statistique (PRO) par l'équation :

$$PRO = \frac{PRm + PRM}{2} \quad (\text{Hevia - Rodriguez, in Lemos de Sousa, 1972}).$$

Les résultats d'une série de mesures, soit de PRO ou de PRM, sont exprimés par un diagramme, appelé "réflectogramme", qui donne la fréquence en % des diverses valeurs mesurées du pouvoir réflecteur. La courbe ainsi obtenue a l'allure d'une courbe de Gauss. On peut alors calculer pour chaque série la moyenne (PR) en relevant la réflectance correspondant à l'abscisse moyenne du palier de fréquence maximale du réflectogramme et l'écart type (σ) par la formule :

$$\sigma = \sqrt{\frac{n \cdot [\sum (R_i^2 \cdot X_i) - 100 PR^2]}{100 \cdot (n - 1)}}$$

avec :

Ri = valeur moyenne de la demi-classe de réflectance,

Xi = % de valeur mesurée par demi-classe,

PR = valeur moyenne de la réflectance,

n = nombre de mesures

ou par le calcul direct à partir des valeurs mesurées :

$$X = \frac{\sum PR_i}{n}$$

$$= \sqrt{\frac{(X - PR_i)^2}{n - 1}}$$

X = valeur moyenne de la réflectance,

PRi = valeurs mesurées.



ECHANTILLONS	VITRINITE		EXINITE		INERTINITE						M	V	E	I	
	Co	Te	Sp	Cu	Fu	Sf	Mf	Mm	Sc	In					
MERICOURT 30	895.35	85.0	-	2.2	-	2.1	2.5	0.6	-	-	0.9	6.8	91.7	2.4	6.5
	896.38	75.8	-	3.0	0.2	-	13.4	2.2	2.5	0.2	0.7	2.2	77.5	3.3	19.4
	896.66	91.5	0.2	3.2	0.2	-	2.4	2.0	0.3	-	0.2	0.2	91.8	3.4	4.9
	903.10	87.3	-	1.9	-	0.8	4.7	2.0	-	-	0.5	2.8	89.9	2.0	8.2
	932.45	74.3	0.2	2.8	0.2	-	14.7	6.1	0.5	-	1.1	0.2	74.6	3.0	22.4
	935.45	59.6	-	2.6	-	0.6	21.9	11.3	1.5	0.1	1.1	1.2	60.3	2.6	36.9
	942.60	89.5	-	3.7	0.3	-	2.6	2.7	0.3	-	0.5	0.3	89.8	4.0	6.1
	944.45	75.7	-	1.1	-	-	11.4	7.0	0.8	-	0.6	3.4	78.4	1.1	20.5
	958.65	58.6	0.7	6.7	0.4	-	21.4	8.1	3.1	-	0.9	0.2	59.5	7.1	33.6
	969.90	81.1	-	2.1	-	-	6.2	3.4	1.0	-	0.8	5.3	85.6	2.2	12.0
	973.60	65.2	-	9.4	-	0.2	6.3	15.3	2.8	-	0.7	0.2	65.3	9.4	25.3
984.95	84.2	-	2.0	-	0.2	6.4	2.8	0.4	0.2	0.6	3.3	87.1	2.1	11.0	
LOOS 6	296.50	63.6	-	4.2	-	3.6	12.8	9.2	2.6	0.2	2.4	1.4	64.5	4.3	31.2
	377.50	63.6	-	-	-	5.4	14.0	7.6	3.8	0.6	4.4	0.6	63.9	-	36.0
	446.20	59.4	-	0.6	-	1.0	20.4	10.4	2.2	0.2	5.8	-	59.4	0.6	40.0
	470.40	69.4	-	1.8	-	4.0	5.0	14.2	0.4	-	3.0	2.2	71.0	1.8	27.2
	553.05	79.8	-	-	-	2.0	6.0	9.6	0.2	-	2.0	0.4	80.0	-	20.0
	570.45	89.2	-	-	-	2.4	2.2	2.2	-	1.0	1.6	1.4	90.1	-	10.9
	584.90	67.8	-	-	-	1.4	10.8	16.2	1.4	0.4	1.8	0.2	67.9	-	32.1
	615.80	69.8	-	-	-	0.6	8.6	15.0	1.0	0.4	1.6	3.0	72.0	-	28.0
	616.70	82.4	-	-	-	0.6	3.4	11.4	-	-	1.4	0.8	83.1	-	16.9
	616.90	47.6	-	-	-	1.6	18.8	25.4	0.6	0.8	4.2	1.0	48.1	-	51.9
	630.30	62.4	-	-	-	0.4	13.2	20.0	1.0	0.6	1.2	1.2	63.2	-	36.8
640.90	66.4	-	-	-	0.6	11.6	18.2	1.2	0.4	0.6	1.0	67.1	-	33.0	

Tableau 3. Résultats des analyses macérales de Méricourt 30 et Loos 6.

Co = Collinite ; Te = Télinite ; Sp = sporinite ; Cu = Cutinite ;
 Fu = Fusinite ; Sf = Semifusinite ; Mf = Micrinite fine ;
 Mm = Micrinite massive ; Sc = Sclérotinite ; In = Inertodétrinite ;
 M = Matières minérales ; V = Vitrinite ; E = Exinite ;
 I = Inertinite.

II. RESULTATS

II.1. ANALYSES MACERALES

Le pouvoir réflecteur de l'exinite - rappelons-le - égale celui de la vitrinite vers 1,6 % de pouvoir réflecteur ou 22 % de matières volatiles. Cette uniformisation entraîne des problèmes de reconnaissance des macéraux en lumière normale ou même en lumière polarisée. Ces difficultés ne sont pas insurmontables lors de l'analyse macérale générale. En effet, le lexique indique que la collinite est un macéral dont la structure cellulaire est invisible sans attaque par une méthode quelconque. La possibilité nous est donc offerte de classer de tels macéraux sans structure cellulaire visible dans la collinite.

Toutefois pour certaines études, il devient nécessaire de distinguer autant que possible les macéraux. Pour cela, on est conduit à restituer les contours des macéraux originels ou les structures cellulaires en attaquant la surface polie par diverses méthodes que nous avons citées dans le chapitre I.5. Dans notre mémoire, le four à plasma a précisément été utilisé pour attaquer les charbons situés à la limite de la disparition de l'exinite soit vers 15 à 20 % de matières volatiles.

Pour sélectionner les combustibles à traiter, une analyse macérale à d'abord été effectuée sur des échantillons en grains. Ces observations ont en outre servi aux recherches des relations entre la composition en macéraux et les teneurs en matières volatiles ou le pouvoir réflecteur. Les charbons des sondages Méricourt 30 et Loos 6 ont été analysés quantitativement (tabl. 3). Ils contiennent de 15 à 30 % de matières volatiles.

La teneur en vitrinite oscille entre 48,1 % et 91,8 %. Elle est quasi-totalement constituée de collinite. Seuls les 3 échantillons du Méricourt 30 contiennent de la télinite, de 0,2 % à 0,7 %. Les teneurs en inertinite sont comprises entre 4,9 % et 51,9 %. L'inertinite est constituée de fusinite, de semifusinite, micrinite, sclérotinite et inertodétrinite. La semifusinite et la micrinite fine sont les plus abondantes. La teneur maximale en exinite est de 9,4 %, mais pour les 15 échantillons la moyenne est de 3,28 %. La sporinite et la cutinite représentent les macéraux du groupe de l'exinite. La sporinite est la plus abondante. Cinq échantillons du sondage Méricourt 30 contiennent

entre 0,2 % à 0,4 % de cutinite. Ce macéral disparaît à partir de 969,90 m à Méricourt 30 soit pour 28,1 % de matières volatiles et 1,116 % de pouvoir réflecteur. La sporinite disparaît à partir de 553,05 m dans le sondage Loos 6 soit à 16,5 % de matières volatiles et 1,46 % de pouvoir réflecteur.

II.2. ETUDES MACERALES SUR SURFACE ATTAQUEE

II.2.1. Choix des combustibles

A partir des résultats des analyses macérales, les échantillons suivants ont été choisis pour l'attaque :

- l'échantillon prélevé à 984,95 m à Méricourt 30 contenant des spores mais pas de télinite ni de cutinite,
- les échantillons recueillis respectivement à 377,50 m, 570,45 m, 616,70 m, 630,40 m et 640,90 m dans le sondage Loos 6 et ne contenant ni télinite, ni exinite,
- et l'échantillon provenant de 1232,60 m dans le sondage 19 a été choisi - lui - sans analyse macérale préalable. Il est en effet au stade de l'antracite soit 7,1 % de matières volatiles et 2,85 % de pouvoir réflecteur moyen (PRO).

L'attaque a duré (tabl. 4) de 15 à 21 minutes dans le four et a fait réapparaître le contour des macéraux ou la structure cellulaire visible cette fois en lumière normale.

SONDAGES	MERICOURT 30	LOOS 6					SONDAGE 19
PROFONDEUR (m)	984,95	377,50	570,45	616,70	630,30	640,90	1232,60
DUREE DE L'ATTAQUE	15 mn	18 mn	15 mn	15 mn	21 mn	15 mn	21 mn

Tableau 4 : Les durées d'attaque.

II.2.2. Comportement des macéraux

Selon le comportement lors de l'attaque nous avons distingué deux types de collinite. L'un est très facilement oxydé et érodé, par conséquent noirçi (pl. I, ph. 3). L'autre résiste à l'oxydation, reste en relief et garde sa couleur originelle blanc ou gris-clair. Dans le deuxième type certaines plages montrent une structure cellulaire et des contours (pl. I, ph. 3), d'autres surfaces gardent une forme homogène et massive. Des trous dus probablement au choc thermique apparaissent parfois (pl. VI, ph. 1). Les photos 1,2 et 3 de la pl. I et la photo 1 et 2 de la pl. II montrent la réapparition de la structure cellulaire pour différentes oxydabilités de la collinite. La photo 1 de la pl. I et la partie supérieure de la photo 1 et 2 de la pl. II montrent la collinite intacte, protégée de l'attaque par une feuille d'aluminium. Ni le contour ni la structure cellulaire ne sont visibles. La structure commence à réapparaître après une légère oxydation dans la photo 2 de planche I et au milieu de photo 2 de planche II. Après une attaque suffisamment longue la structure et le contour sont alors bien visibles comme sur la photo 3 de planche I et à la partie inférieure de la photo 1 et 2 de la planche II.

La fusinite est plus ou moins oxydable. Elle disparaît souvent après attaque en formant une bande noirâtre. Quelques petits fragments de fusinite subsistent au milieu du lit de fusinite (pl. VII, ph. 2).

La semifusinite montre très peu de changement par l'attaque. Il semble que certains trous se soient produits par oxydation de la collinite (pl. VII, ph. 3, 4 et 5).

La sclérotinite résiste en général à l'attaque (pl. II, ph. 3 ; pl. V, ph. 1 ; pl. VII, ph. 4). Néanmoins, elle peut parfois montrer une structure après l'attaque (pl. VIII, ph. 1).

La micrinite est un macéral particulièrement sensible à l'attaque. Sa couleur passe de l'orange au début de l'attaque (pl. I, ph. 2) au

noir (pl. I, ph. 3). Cette sensibilité à l'oxydation est telle que souvent la sporinite réapparaît (pl. I, ph. 4).

L'inertodétrinite observée ne montre généralement pas de trace d'oxydation. Mais quand dans un charbon la fusinite est oxydable, l'inertodétrinite l'est aussi (pl. V, ph. 3 et 4).

La collinite comprend - rappelons-le - des variétés : la télcollinite, la gélocollinite, la desmocollinite et la corpocollinite. Dans les charbons évolués, la collinite recouvre une part de l'exinite quand les pouvoirs réflecteurs de ces deux macéraux deviennent identiques.

Les origines multiples de la collinite peuvent expliquer ses comportements divers et en particulier les deux aspects que nous avons décrits. Ce qui provient des tissus cellulaires reste en relief lors de l'attaque. Quand la collinite a une autre origine, l'attaque produit une érosion de la surface. La collinite ainsi creusée par l'attaque peut partiellement correspondre à la gélocollinite ou au ciment de desmocollinite selon l'aspect qu'elle présente entre les tissus cellulaires restant en relief (pl. I, ph. 3 ; pl. V, ph. 2) ou qu'elle renferme des fragments (pl. V, ph. 3 et 4). Une autre partie incluse dans les cavités cellulaires (pl. I, ph. 3 ; pl. III, ph. 1 à 4) ou isolée et de forme ovale (pl. VIII, ph. 5) peut correspondre à la gélocollinite ou à la corpocollinite. Il subsiste toutefois - notons-le - une certaine ambiguïté, car la résinite peut elle-aussi remplir les cavités cellulaires aussi bien que la gélocollinite. On ne peut donc pas distinguer la résinite de la gélocollinite ou de la corpocollinite uniquement par sa forme. Rappelons par ailleurs qu'aucune résinite n'a pas été observée avant attaque. Toutefois, il semble logique de penser que les parties creusées doivent correspondre à des macéraux provenant de matières mobiles, du gel pur ou de la résine.

Dans la plupart des cas, la part demeurant en relief appartient selon les contours ou la structure cellulaire à des tissus ligneux (pl. III, ph. 1 - 4 ; pl. VIII, ph. 3, 4 et 6), des spores (pl. IV, ph. 1 à 4 ; pl. V, ph. 1 à 4) et des cuticules (pl. VI, ph. 1 à 4).

Cependant, parfois nous pouvons penser que ce qui reste en relief (pl. VI, ph. 1), sans présenter de forme particulière doit tout de même correspondre à des tissus cellulaires. Malgré l'absence de forme propre, il ne semble pas que de telles plages puissent provenir de gel. En effet la surface occupée est trop importante, eu égard au fait que la gélocollinite n'est pas quantitativement très abondante. Il semble plutôt que ces plages ont pour origine des tissus ligneux tellement gélifiés que toute la structure cellulaire a été définitivement masquée.

Les autres macéraux oxydables sont la micrinite fine, la fusinite et la sclérotinite comme nous l'avons vu précédemment. Il est assez facile de les distinguer sous le microscope.

La semifusinite et la sclérotinite sont - rappelons-le - très résistantes aux attaques oxydantes alors que la micrinite fine y est très sensible. Stach (1936) a montré que, attaquée superficiellement à l'acide sulfochromique, la micrinite fine est plus facilement détruite que tous les autres macéraux. En 1967, Nandi et Montgomery ont constaté que soumise à un chauffage infrarouge la micrinite fine est le premier macéral qui disparaît. Nos observations confirment d'ailleurs bien cette sensibilité particulière de la micrinite fine aux facteurs oxydants. Bien que rattachée par son aspect au groupe de macéraux de l'inertinite la micrinite fine s'en éloigne par son comportement s'apparentant plutôt à celui des macéraux du groupe de l'exinite. C'est en grande partie pour cette raison que M. Teichmüller (1974) a été conduit à rechercher l'origine de la micrinite fine à partir des produits de destruction des sporinites, de certaines résinites, de bituminites, et de desmocollinites. Cet auteur appuie son argumentation :

- sur la fréquente juxtaposition de micrinite fine et de sporinite,
- sur la présence de micrinite fine dans des remplissages cellulaires de résinite,
- sur la richesse concomittante des bogheads en micrinite fine et en masse fondamentale bituminique,
- et enfin sur la vraisemblable origine de la micrinite fine à partir de vitrinites riches en hydrogène et à faible pouvoir réflecteur comme les desmocollinites.

Il n'en demeure pas moins que des observations et des photographies particulièrement démonstratives permettent d'affirmer que la micrinite peut aussi prendre naissance à partir de tissus ligneux (Thiessen et Sprunk, 1936 ; Delattre et Mériaux, 1966 ; Spackman et Barghoorn, 1966). Rappelons que la fusinite est parfois très oxydable. Dans ces conditions, il y a là une apparente contradiction entre l'origine inertinitique de la micrinite fine et son comportement s'apparentant au matériel liptinitique. Il est vraisemblable que l'état finement granuleux de la micrinite fine doit favoriser l'oxydation que ne permet pas l'aspect massif des tissus ligneux dont elle dérive. La naissance de la micrinite fine au passage des lignites brillants aux charbons flambants militerait, en dernière analyse, pour des origines multiples de la micrinite fine ou pour des compositions variées d'un macéral morphologiquement remarquablement homogène.

L'attaque au four à plasma utilisée dans cette étude constitue une méthode particulièrement rapide et efficace. La manipulation de l'appareil est très simple (Delattre et al., 1970). Le débit d'oxygène est facilement réglable. Il est en outre aisé de traiter plusieurs échantillons en même temps, et de modifier la durée d'attaque d'un échantillon autant qu'on le désire. Il est possible aussi d'attaquer un échantillon plusieurs fois de suite en nettoyant l'huile à l'acétone ou en le polissant à nouveau jusqu'à l'obtention d'un bon résultat. Cette méthode peut être utilisée pour une très large gamme de charbons. Les charbons attaqués dans cette étude contiennent de 28 % à 7,15 % MV et Delattre et al. avaient étudié, rappelons-le, un charbon à 3,2% de matières volatiles.

Après attaque, les contours réapparaissent suffisamment bien pour pouvoir procéder à une observation en lumière normale. L'attaque révèle non seulement les contours des macéraux mais aussi la structure cellulaire très fine. La photographie 2 de la planche II et les photographies 2 et 3 de la planche VIII montrent la structure finement stratifiée des tissus ligneux et la photographie 1 de la planche VIII montre celle d'un sclérote.

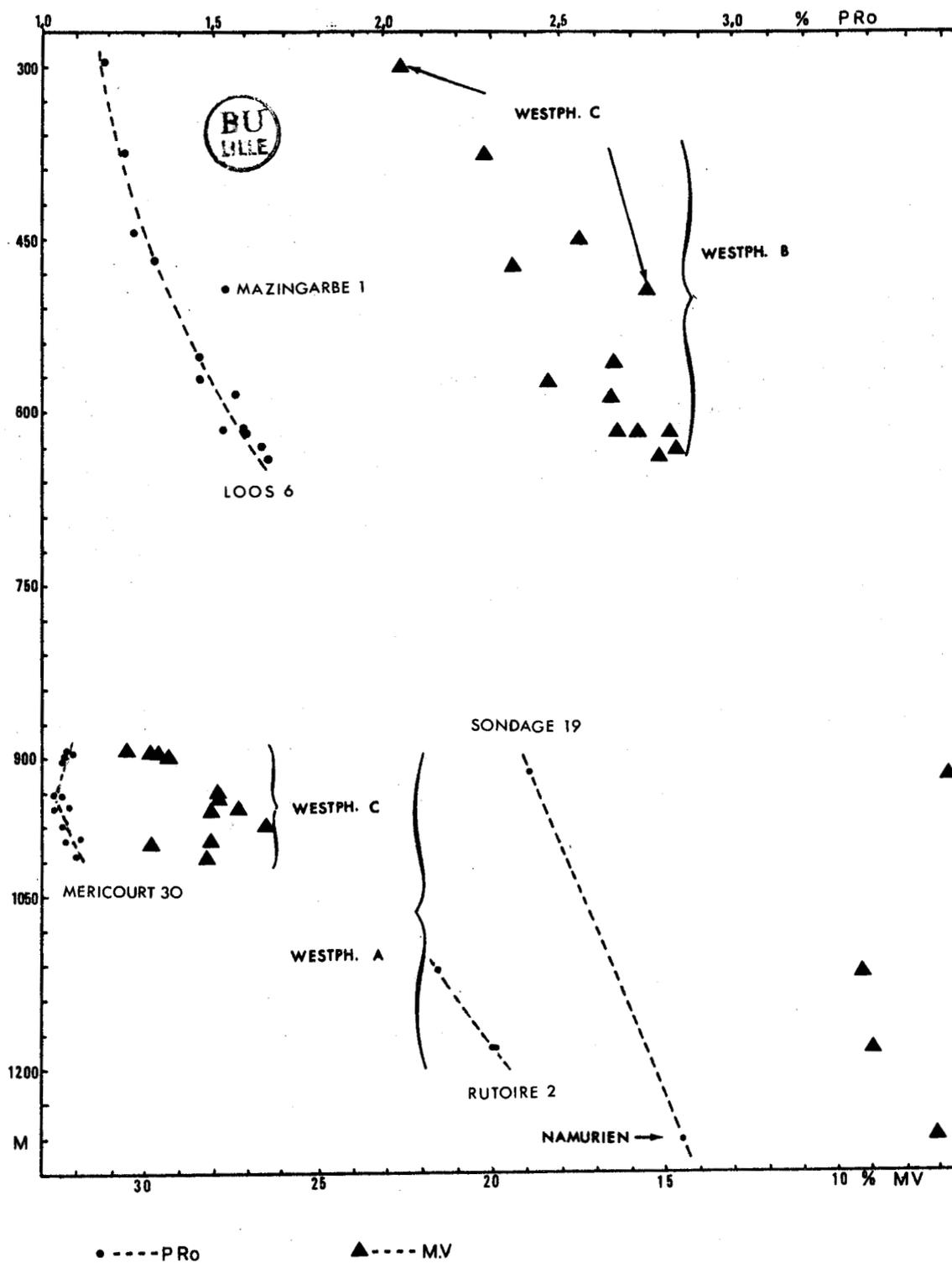


Figure 2. Variation de PRo et MV avec la profondeur actuelle.

II.3. POUVOIR REFLECTEUR

II.3.1. Relation entre le pouvoir réflecteur et la profondeur

La figure 2 montre que les valeurs moyennes de pouvoir réflecteur (PRO) mesurées sur les 30 échantillons augmentent apparemment avec la profondeur à laquelle ils ont été prélevés c'est-à-dire avec la profondeur actuelle. Il est difficile d'affirmer que le pouvoir réflecteur des charbons étudiés est en relation directe avec la profondeur actuelle. En effet, le charbon situé le plus profondément est stratigraphiquement le plus âgé. Mais, les charbons du sondage Méricourt 30 ont des pouvoirs réflecteurs moins élevés que ceux des combustibles du sondage Loos 6 ou Mazingarbe I situés, eux, à des profondeurs actuelles moins grandes.

En première analyse, il semble donc que la variation de pouvoir réflecteur est plutôt en relation avec l'âge des charbons qu'avec la profondeur actuelle. C'est ce qui apparaît sur le diagramme fournissant le pouvoir réflecteur (PRO) en fonction de la position stratigraphique (fig. 3). En outre la figure 3 montre qu'il n'y a pas eu de houillification dominante postérieure à la tectonique. Il conviendra toutefois de bien examiner la variation de la réflectance des charbons de Méricourt 30. En effet, entre 895,35 m et 935,45 m, le PRO des charbons diminue avec la profondeur actuelle tandis que entre 942,60 m et 984,95 m il augmente avec la profondeur actuelle (fig. 2). Les deux parties du sondage Méricourt 30 ont quasiment la même réflectance ; et pourtant, la partie supérieure comprise entre 895,35 m et 935,45 m (fig. 2) de Méricourt 30 se situe stratigraphiquement au voisinage du Tonstein Hermance (fig. 3) donc à 400 m en-dessous de la partie inférieure située entre 942,60 m et 984,95 m (fig. 2) et voisine du Tonstein Prudence (fig. 3), (Bouroz, 1969).

La discontinuité de la variation de PRO entre ces deux parties peut être expliquée par l'existence d'une faille et la diminution de PRO dans la partie supérieure par un renversement dû à la tectonique de cette partie.

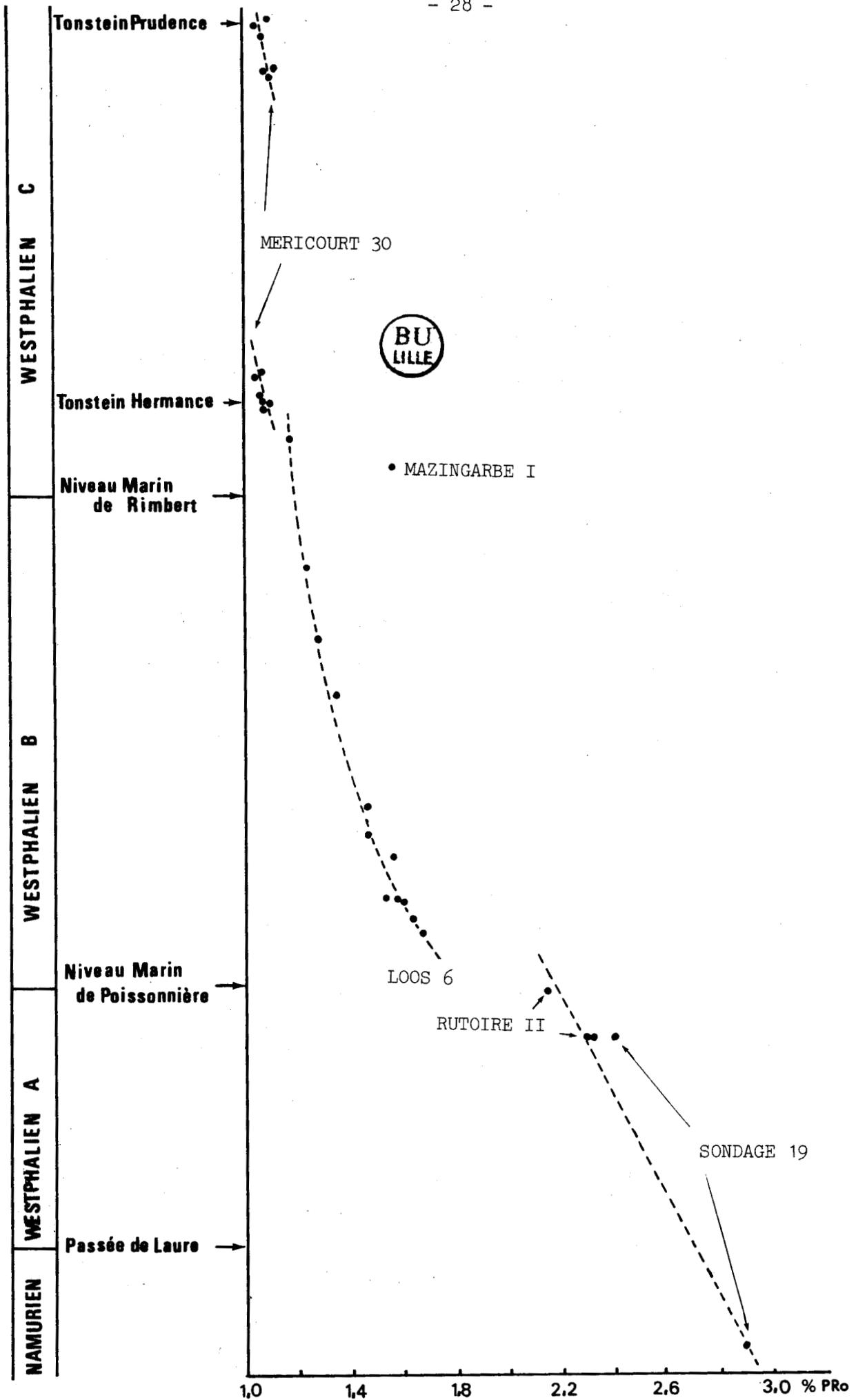


Figure 3. Variation de PRo avec la position stratigraphique approximative.

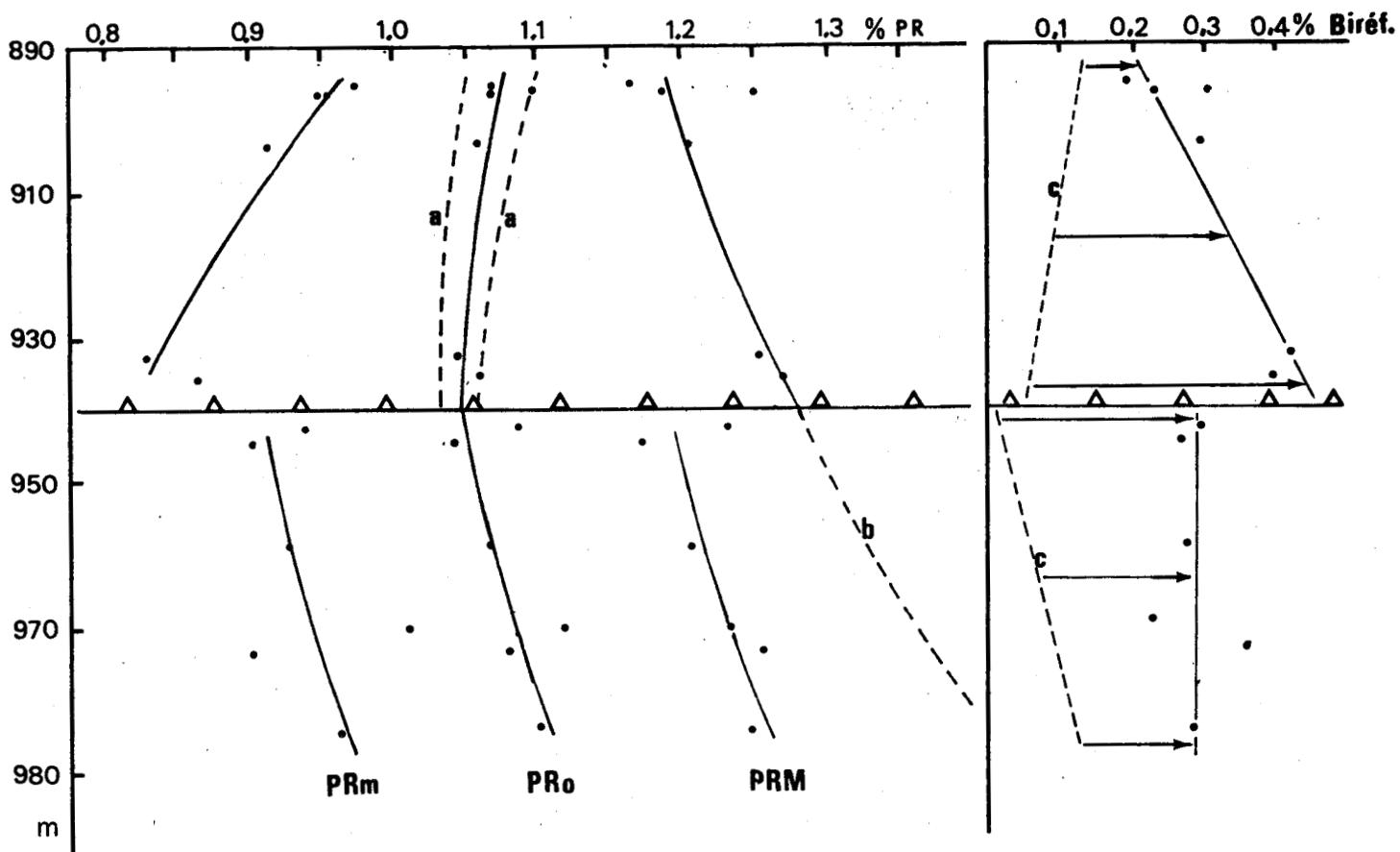


Figure 4. Sondage de Méricourt 30. Variation de pouvoir réflecteur et de biréfractance avec la profondeur actuelle.

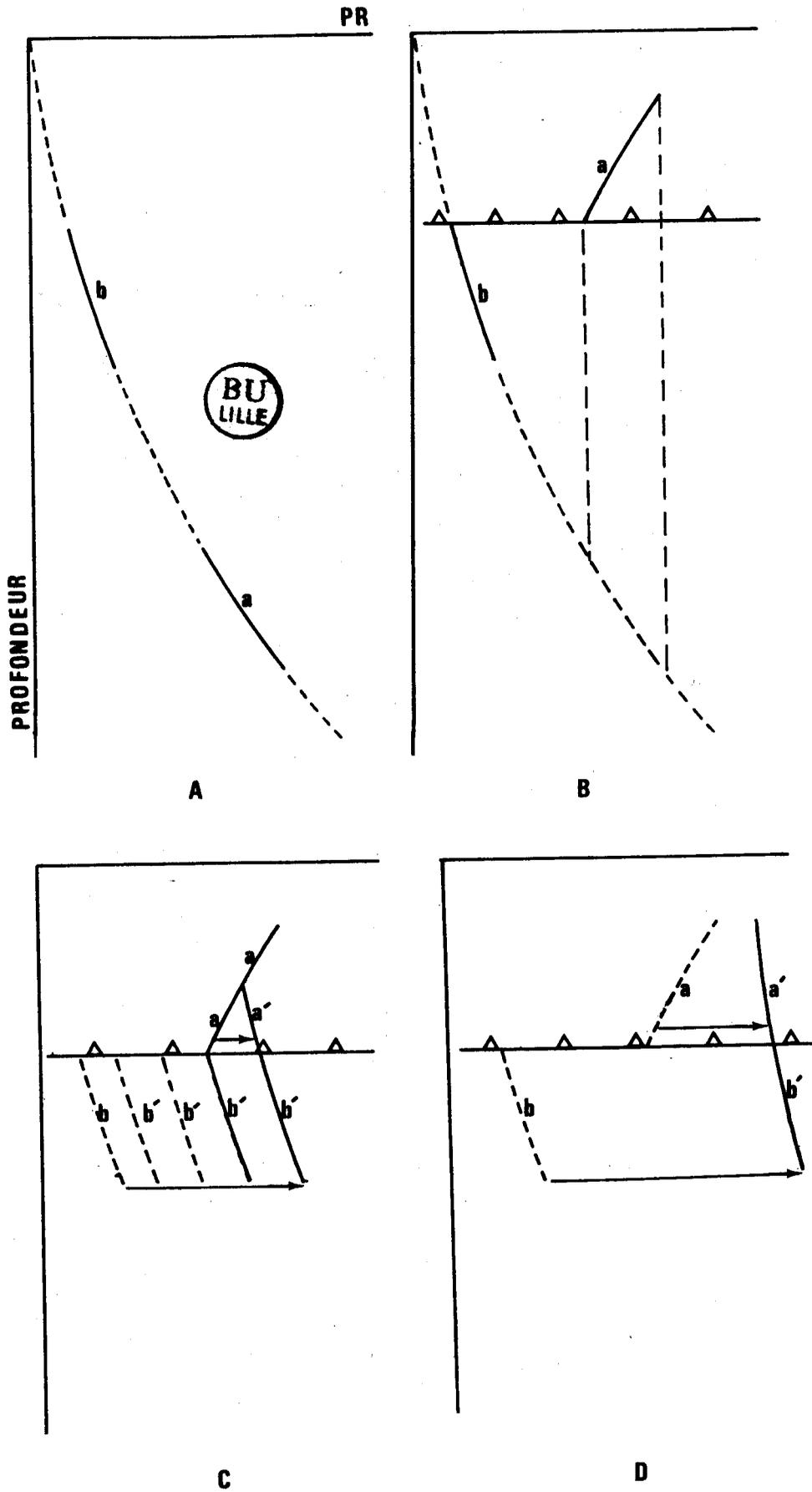


Figure 5. Allures possibles des courbes de PR après la tectonique.

Le P_{Ro} augmente légèrement en descendant stratigraphiquement dans la partie supérieure (fig. 4). Il apparaît donc que cette partie n'a pas subi de houillification générale postérieurement à la mise en place tectonique de bassin houiller. En effet, si elle avait été soumise à une carbonification post-tectonique d'intensité supérieure à la précédente, la réflectance de cette partie diminuerait cette fois en descendant stratigraphiquement.

Toutefois, en comparant la valeur de P_{Ro} des combustibles situés dans la partie basale stratigraphiquement (984,95 m) de la partie inférieure avec celle de ceux de la partie la plus haute stratigraphiquement (935,45 m) de la partie supérieure, on constate que l'on passe de 1,102 à 984,95 m à 1,066 % à 935,45 m (fig. 4) ; et pourtant la première est située stratigraphiquement à 400 m au-dessus de 935,45 m. Ceci tend à montrer que les charbons de Méricourt 30 ont subi, au moins partiellement, une houillification postérieure à la tectonique et dont l'origine est à attribuer à la faille entre les deux parties et au renversement de la partie supérieure. Si cette houillification post-tectonique n'existait pas, la réflectance à 984,95 m ne devrait pas, selon la loi de Hilt, dépasser celle des combustibles situés à 935,45. La réflectance à 935,45 m devrait montrer une valeur plus élevée de 0,07 % que celle des charbons situés à 984,95 m en retenant un $\Delta PR/100$ m égal à 0,017 % pour le Westphalien C (Alpern, 1969).

De plus, selon la variation des teneurs en matières volatiles avec la profondeur actuelle (tabl. 4, fig. 2), il semble que même la partie supérieure a subi une houillification postérieure, la matière volatile diminuant avec la profondeur de façon très régulière (de 30,55 % à 27,9 %) dans la partie supérieure.

Dans le cas où sur une même verticale se superposent des charbons renversés stratigraphiquement puis des charbons en place avec un contact par faille comme ici au sondage Méricourt 30, on peut supposer (fig. 5) plusieurs courbes de variation de PR avec la profondeur actuelle, selon l'existence ou l'absence de houillification postérieure et son intensité.

La figure 5, montre en A une courbe de PR de houillification antérieure à la tectonique ; en B en l'absence de houillification postérieure à la tectonique les mêmes valeurs absolues de ses segments

Sondages	Profondeur (m)	M V (%)	I G	PRo (%)	σ PRo	PRM (%)	σ PRM	Biréf.
MERICOURT 30 	895.35	30.55	8	1.068	0.021	1.164	0.034	0.194
	896.38	29.80	8	1.099	0.026	1.251	0.05	0.304
	896.66	29.70	8	1.069	0.024	1.186	0.035	0.232
	903.10	29.4	6	1.059	0.034	1.206	0.049	0.295
	932.45	27.9	6	1.044	0.057	1.250	0.102	0.420
	935.45	27.9	5 1/2	1.066	0.044	1.257	0.112	0.393
	942.60	27.3	8	1.085	0.032	1.233	0.047	0.296
	944.45	28.1	5	1.040	0.037	1.117	0.127	0.269
	958.65	26.5	8	1.066	0.030	1.206	0.039	0.279
	969.90	28.10	7 1/2	1.116	0.042	1.229	0.053	0.228
	973.60	29.75	7 1/2	1.077	0.036	1.255	0.082	0.356
	984.95	28.25	7 1/2	1.102	0.030	1.246	0.044	0.285
MAZINGARBE I	483.70	15.50	4 1/2	1.542	0.039	1.712	0.068	0.341
LOOS 6	296.50	22.6	8	1.185	0.054	1.317	0.076	0.277
	377.50	20.20	8.5	1.251	0.023	1.358	0.060	0.213
	446.20	17.40	6	1.279	0.024	1.437	0.030	0.311
	470.40	19.4	8.5	1.346	0.046	1.549	0.079	0.404
	553.05	16.5	6	1.461	0.024	1.620	0.057	0.320
	570.45	18.3	-	1.462	0.048	1.711	0.124	0.495
	584.90	16.5	7.5	1.569	0.031	1.692	0.057	0.249
	615.80	16.4	7.5	1.530	0.030	1.657	0.035	0.255
	616.70	15.8	5.5	1.587	0.026	1.696	0.039	0.218
	616.90	14.9	4	1.592	0.039	1.787	0.087	0.392
630.30	14.7	-	1.635	0.023	1.782	0.050	0.295	
640.90	15.1	5	1.662	0.028	1.863	0.058	0.401	
RUTOIRE 2	1087.30	9.2	-	2.146	0.062	2.411	0.062	0.520
	1153.00	9.0	-	2.308	0.067	2.686	0.109	0.744
	1153.10			2.30	0.049	2.657	0.068	0.698
SONDAGE 19	914.40	6.8		2.407	0.028	2.683	0.060	0.551
	1232.60	7.1		2.849	0.065	3.248	0.167	0.795

Tableau 5. Les valeurs de PRo, PRM, Biref., MV des charbons étudiés.

a et b de la courbe A réapparaissent, mais le sens de a est renversé puisque les charbons sont renversés stratigraphiquement par la tectonique. Quand la houillification postérieure n'est pas suffisamment forte, c'est-à-dire qu'elle reste inférieure au rang de a ou le dépasse légèrement, les valeurs de PR se manifesteront en C selon les courbes a, a' et b' selon le degré de houillification. La figure 5C montrant diverses combinaisons possibles de ces courbes. La courbe a traduit la houillification antérieure à la tectonique. Si enfin la houillification postérieure est suffisamment forte, on obtiendra une courbe continue, a', b' de houillification comme celle représentée en D sur la figure 5. Il ne restera plus alors aucune trace de la houillification originelle. La longueur de la flèche matérialise les variations de la houillification dans les compartiments respectifs.

La courbe de la réflectance du sondage Méricourt 30 (courbe PRO de la figure 4) correspond au cas C de la figure 5 (a et 3ème b' à partir de la gauche). Cela veut dire que la partie supérieure de Méricourt 30 a conservé un degré de houillification originel (courbe a de C) et que la partie inférieure traduit la carbonification post-tectonique (courbe b' de C). Autrement dit, les charbons de Méricourt 30 ont partiellement subi la houillification post-tectonique. Dans ces conditions, on peut considérer que les charbons de la région Nord-Pas-de-Calais ont subi une houillification post-tectonique ou bien ils ne l'ont pas subie selon leur position stratigraphique, le degré de houillification originelle et la profondeur à laquelle ils ont été portés par la tectonique.

Par exemple, les charbons qui ont été soumis à une houillification post-tectonique montrent une réflectance (PRO) comprise entre 1,040 % et 1,116 % pour une profondeur actuelle de 942,60 m à 984,95 m (tabl. 5). Dans ces conditions, les charbons qui présentent une réflectance plus élevée pour une profondeur moins grande n'auraient pas suivi la même loi de houillification post-tectonique. Il est donc possible de penser que les charbons du Loos 6 situés à une profondeur de 640,90 m et présentant des PRO compris entre 1,18 et 1,66 % n'auraient pas suivi la houillification post-tectonique.

La variation de la réflectance avec la température et la profondeur semble être exponentielle (Alpern, 1980 ; Hacquebard, 1984).

C en %	PRM	PRm	PRo	Biréf.
58.0	0.26	0.26	0.26	-
70.5	0.32	0.32	0.32	-
75.5	0.48	0.48	0.48	-
81.5	0.74	0.71	0.725	0.03
83.0	0.83	0.78	0.805	0.05
84.0	0.90	0.83	0.865	0.07
85.0	0.96	0.89	0.925	0.07
86.0	1.04	0.95	0.995	0.09
87.0	1.13	1.02	1.075	0.09
88.0	1.25	1.11	1.18	0.14
89.0	1.40	1.22	1.31	0.18
90.0	1.60	1.35	1.475	0.25
91.2	2.00	1.56	1.78	0.44
92.5	2.81	1.97	2.39	0.84
93.4	3.61	2.32	2.965	1.29
94.2	4.24	2.66	3.45	1.58
95.0	5.03	3.02	4.025	2.01
96.0	6.09	3.47	4.78	2.62

Tableau 6. Les valeurs de PRM, PRm, PRo et Biréfectance (d'après Van Krevelen, 1961).

Si l'on calcule la courbe de la houillification post-tectonique - certes sur un faible nombre d'échantillons - à partir des valeurs de PRO des charbons situés entre 942,60 m et 984,95 m dans Méricourt 30 précisément touché par la houillification post-tectonique, on obtient l'équation suivante :

$$\text{profondeur} = - 1664,478 \times \log (\text{PRO}) - 915,816$$

Selon cette équation, 1,25 % de PRO, mesuré sur des échantillons prélevés à 377,50 m dans Loos 6 au point le plus proche du sommet du Westphalien B, peut être atteint à une profondeur de 1080 m environ. Par conséquent, les charbons des environs du sommet du Westphalien B doivent se trouver à une profondeur actuelle de 1080 m au moins et présenter une réflectance supérieure à 1,25 % s'ils obéissent à la loi de houillification post-tectonique. L'application de l'équation précédente avec un PRO mesuré de 2,146 % au sommet du Westphalien A niveau marin de Poissonnière, correspond à une profondeur de 1480 m. Donc les charbons objets de notre étude, appartenant au Westphalien A et situés actuellement entre 914,40 m et 1153,10 m n'auraient pas subi de houillification post-tectonique, ou bien auraient un rang obéissant à une loi différente de celle que nous avons retenue.

II.3.2. Influence de la tectonique sur le pouvoir réflecteur

Il apparaît sur le tableau 4 que les charbons du sondage Méricourt 30 montrent une anisotropie plus ou moins grande malgré une réflectance peu élevée. Selon Van Krevelen (1961), la biréfectance de 0,25 % peut être atteinte quand le PRM prend la valeur de 1,60 % (tableau 6). Les charbons du sondage Méricourt 30 montrent de telle valeur dès 1,2 % de PRM. Cette anisotropie particulière est représentée sur les diagrammes PRO - biréfectance et PRM - biréfectance de la figure 6.

Sur chaque diagramme, les points se répartissent en deux groupes. Les points constituant le groupe B où la biréfectance tend à s'accroître avec l'augmentation de PRM ou de PRO appartiennent aux charbons prélevés à partir des sondages dans lesquels aucun événement tectonique particulier n'a été constaté. La variation de la biréfectance est en relation avec les variations de PRM et de PRO.

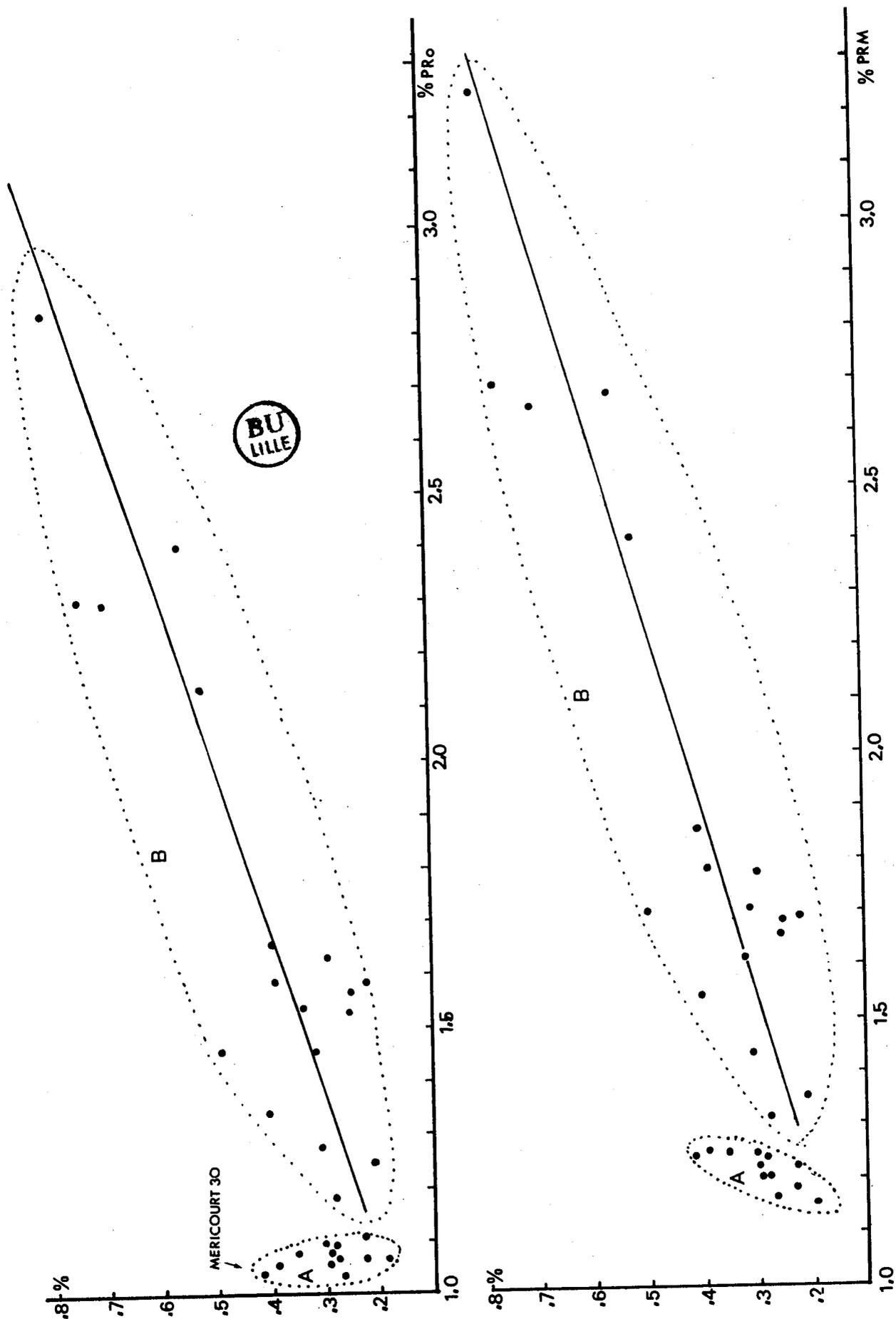


Figure 6. Relations entre la biréfréctance, PRo et PRm.

Les coefficients de corrélation valent respectivement 0,908 pour la relation birélectance - PRM et 0,869 pour celle entre la birélectance et le PRO. Ces précisions ont été obtenues par le calcul à partir des résultats de Van Krevelen (1961).

Dans le groupe A, (fig. 6) on observe une augmentation concomittante de la birélectance avec celle de PRM. Par contre il n'existe aucune relation entre la variation de la birélectance et celle de PRO. A ce groupe appartiennent les charbons de Méricourt 30 dans lequel existent un renversement et une faille. On peut donc admettre que la birélectance des charbons du sondage Méricourt 30 a été influencée par la tectonique. Les diagrammes profondeur - PR et profondeur - birélectance (figure 4) montrent clairement l'influence de cette faille et de ce renversement. Les variations de PR et de birélectance s'interrompent à la faille. Au-dessus de la faille, dans la partie renversée PRm et PRO diminuent et par contre PRM et la birélectance augmentent avec la profondeur. Au-dessous de la faille, dans la partie en place, PRm, PRO et PRM diminuent et la birélectance garde une valeur constante.

A partir de la tendance de la variation de PRM avec la profondeur dans la partie supérieure, comme on mesure souvent PRM pour déterminer le rang de charbon, on peut considérer que les charbons de la partie supérieure ont subi une houillification post-tectonique. En effet, selon la loi de Hilt, la réflectance doit diminuer avec la profondeur pour les charbons renversés stratigraphiquement comme on le constate par exemple sur la courbe a de la figure 4. Mais, la courbe de variation de PRM de la partie inférieure est discontinue avec celle de la partie supérieure, et de plus, les valeurs de PRM ne sont pas très élevées non plus par rapport à celles de la partie supérieure. La variation obtenue n'est donc pas la conséquence de la houillification post-tectonique liée, elle, à la température qui conduit à une carbonification chimique modifiant le rang du charbon. S'il s'agit de la conséquence de la houillification post-tectonique, le PRM de partie inférieure devrait varier de façon continue avec la partie supérieure comme l'indique la courbe b de la figure 4. En effet, selon la loi de Hilt, et pour une série normale, le rang d'un charbon situé le plus profondément doit être plus élevé que celui des charbons moins enfouis ou, au moins, les valeurs dans la partie inférieure ne devraient pas être plus basses que celles de la partie supérieure, la partie

supérieure ne pouvant subir une houillification sans que la partie inférieure ne soit affectée. Donc, la variation de PRM de la figure 4 ne correspond pas à une houillification post-tectonique mais résulte d'une autre cause capable de modifier le PRM sans entraîner une carbonification chimique de l'ensemble.

Les facteurs déterminants de la houillification sont la chaleur, la pression et le temps. La chaleur n'est pas suffisante pour expliquer l'anomalie constatée dans le sondage Méricourt 30, puisque l'augmentation de la chaleur entraîne directement la houillification chimique générale. Le temps est lui aussi important, mais son rôle n'est pas connu pour la modification de PRM. Par contre, l'influence de la pression sur la modification du PRM est bien connue. Plusieurs auteurs (Mactavish, 1978 ; Cecil et al., 1979) ont constaté qu'une compression retarde la houillification, mais elle accélère l'ordonnance parallèle des lamelles aromatiques et provoque des changements dans les propriétés optiques de la vitrinite (Teichmüller M. & R., 1982). Ceux-ci ont cité le cas du sondage Münsterland I où le cisaillement avait entraîné des accroissements anormaux de PRM et de biréflexance (Teichmüller, M. & R., 1979). Raben et Gray (1979) ont mesuré, dans la même couche de charbon des valeurs de PRM très diverses qu'ils attribuent à la proximité variable de la surface de glissement. Ils en concluent que le PRM ne constitue donc pas un paramètre satisfaisant de rang.

Les conclusions précédentes déterminées sur des anthracites, expriment que le PRM est souvent variable mais toutefois sans relation avec le rang des charbons c'est-à-dire avec la houillification chimique générale, la variation de PRM étant essentiellement liée à la pression. Il est donc vraisemblable que dans le sondage Méricourt 30 la tectonique a joué le rôle le plus important pour la modification de PRM dans la partie supérieure, même si les charbons n'ont pas atteint le stade de l'anthracite. Quand le PRM est modifié par la pression, le PRM ne peut plus être le paramètre de rang du charbon et le PRO constitue alors un meilleur paramètre.

Le PRO comme paramètre de rang s'applique bien au cas du sondage de Méricourt 30. Il diminue dans la partie renversée et augmente dans la partie en place avec la profondeur. Cette évolution est bien conforme à la loi de Hilt et montre que la partie supérieure n'a pas subi la houillification post-tectonique alors que la variation

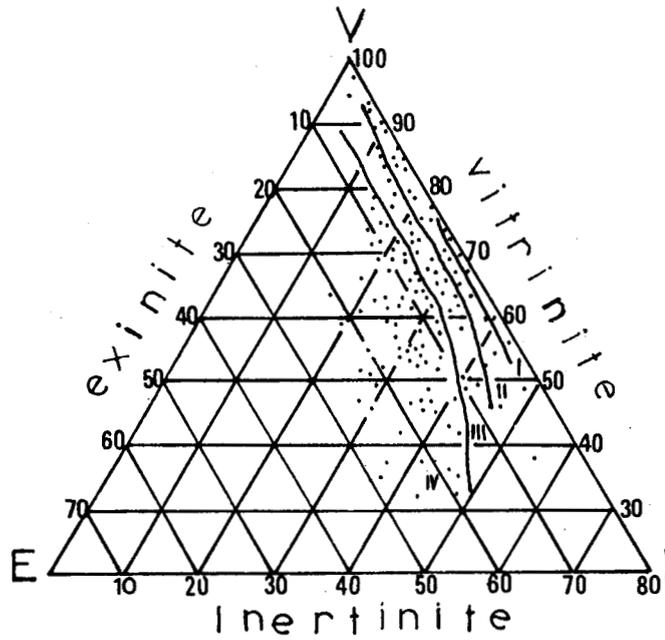


Figure 7. Indice de matières volatiles et pourcentages en vitrinite, exinite et inertinite (d'après Delattre et Mériaux, 1973).

- I. $MV < 18 \%$
- II. $18 < MV < 26 \%$
- III. $26 < MV < 33 \%$
- IV. $33 < MV$

de PRM montre qu'elle l'a subie.

Si l'on retient le P_{Ro} comme paramètre de rang, il peut être calculé à partir de l'équation : $P_{Ro} = \frac{PR_m + PRM}{2}$ (Lemos De Sousa, 1972).

Quand PRM est modifié sans changement de rang, c'est-à-dire sans modification de P_{Ro}, P_{Rm} doit être modifié. Ainsi, lors d'un accroissement de PRM par la pression sans changement de rang, P_{Rm} doit décroître.

Bien entendu, cette façon de modifier PRM et P_{Rm} entraîne la modification de la birélectance. Il devient alors naturel de considérer que la variation anormale de la birélectance à Méricourt 30 est due à la tectonique à l'origine du renversement et de la faille. Cela peut expliquer pourquoi le groupe A montre une relation différente avec les P_{Ro} et PRM du groupe B dans la figure 6. La tectonique a donc perturbé la tendance générale de la variation de birélectance avec PRM et P_{Ro}.

Quand la modification de PRM et P_{Rm} est due à la pression tectonique, il apparaît que cette modification est variable avec la proximité de la faille. A Méricourt 30, le charbon le plus proche de la faille montre la birélectance la plus modifiée (fig. 4). On peut imaginer une courbe c de birélectance (fig. 4) antérieure à la modification de PRM. P_{Ro} diminuerait avec la profondeur dans la partie supérieure et augmenterait dans la partie inférieure et la birélectance est en général, rappelons-le, proportionnelle à P_{Ro} (fig. 6 et tabl. 5). La différence entre la courbe c et la courbe de birélectance actuelle représente le degré de modification de birélectance exprimée par la longueur de la flèche sur la figure 4. La longueur de flèche est plus grande à proximité immédiate de la faille. Cela exprime que la modification de la birélectance est inversement proportionnelle à l'éloignement de la faille.

II.3.3. Relation entre la composition macérale et MV et PR

Les résultats obtenus jusqu'alors par plusieurs auteurs montrent qu'il existe une certaine relation entre les pourcentages en macéraux et les teneurs en matières volatiles ou le pouvoir réflecteur. C'est ainsi que Delattre et al., (1973) ont constaté que les teneurs en matières volatiles augmentent lorsque les pourcentages en exinite croissent (fig. 7). Alpern, (1969) a montré que

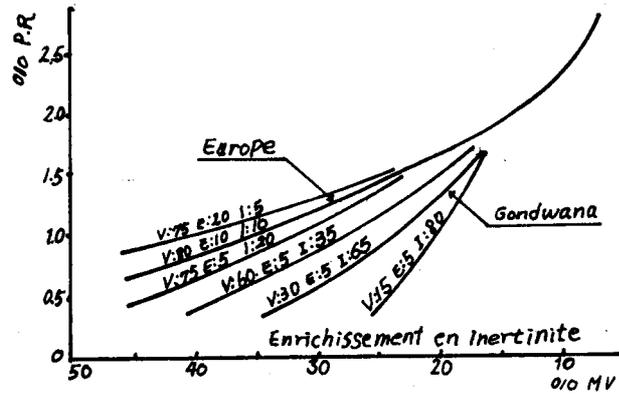


Figure 8. Influence de la composition macérale sur la relation PR/MV (d'après Alpern, 1969).

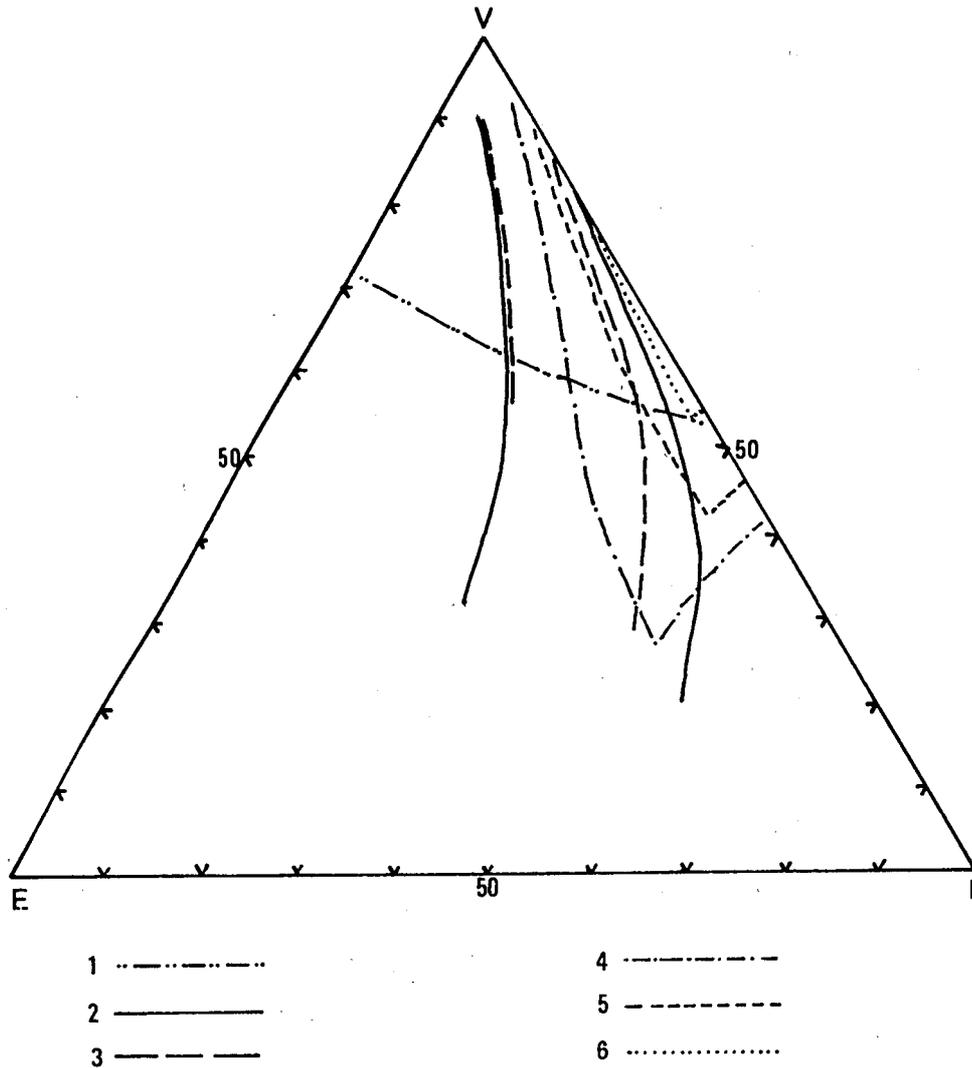


Figure 9. Composition macérale et teneurs en matières volatiles.

- 1. MV > 40 % 2. 40 % > MV > 33 %
- 3. 33 % > MV > 28 % 4. 28 % > MV > 20 %
- 5. 20 % > MV > 14 % 6. 14 % > MV > 10 %

pour une valeur de la réflectance, les teneurs en matières volatiles diminuent lorsque les pourcentages en inertinite augmentent (fig. 8).

Les études que nous avons entreprises sur la recherche de la relation entre la composition macérale et les teneurs en matières volatiles et le pouvoir réflecteur ont porté sur 612 échantillons. Les résultats ont été représentés grâce à la construction de diagrammes triangulaires VEI et le calcul des coefficients de corrélation entre les teneurs en macéraux, en matières volatiles ou les valeurs de pouvoir réflecteur. Les échantillons proviennent respectivement du bassin albanais de Tepelene (67 échantillons) du gisement de Montceau-les-Mines (61 échantillons) et du bassin houiller du Nord-Pas-de-Calais.

A chaque point VEI peut être associé la teneur en matières volatiles ou le pouvoir réflecteur correspondant du combustible.

Un point représentatif d'une analyse macérale VEI dans le triangle est situé à une distance des cotés proportionnelle aux pourcentages en macéraux. Si les points se répartissent de façon ordonnée soit pour les matières volatiles soit pour les pouvoirs réflecteurs en formant une ou plusieurs bandes parallèles à un côté, on peut admettre que les matières volatiles ou le pouvoir réflecteur sont entièrement fonction du macéral opposé à ce côté. Si la bande n'est parallèle à aucun côté, le macéral opposé au côté avec lequel la bande fait le plus petit angle joue le rôle le plus déterminant.

Les diagrammes ont été construits pour les pourcentages suivants : plus de 40 % ; 40 - 33 % ; 33 - 28 % ; 28 - 20 % ; 20 - 14 % ; et 14 - 10 % pour les matières volatiles (fig. 9 et annexe 1, *), moins de 0,70 %, 0,7 - 1,0 %, 1,0 - 1,3 %, 1,3 - 1,7 %, 1,7 - 2,0 % et 2,0 - 2,3 % pour le pouvoir réflecteur (fig. 10 et annexe 2).

Dans le diagramme MV - VEI les points se répartissent en bandes sauf pour la classe de MV supérieure à 40 %. Les bandes sont de plus en plus larges au fur et à mesure de l'augmentation des pourcentages en inertinite et elles font les plus petits angles avec les cotés opposés à l'exinite.

(*) Annexe 1. Ce symbole renvoie à la figure située en annexe.

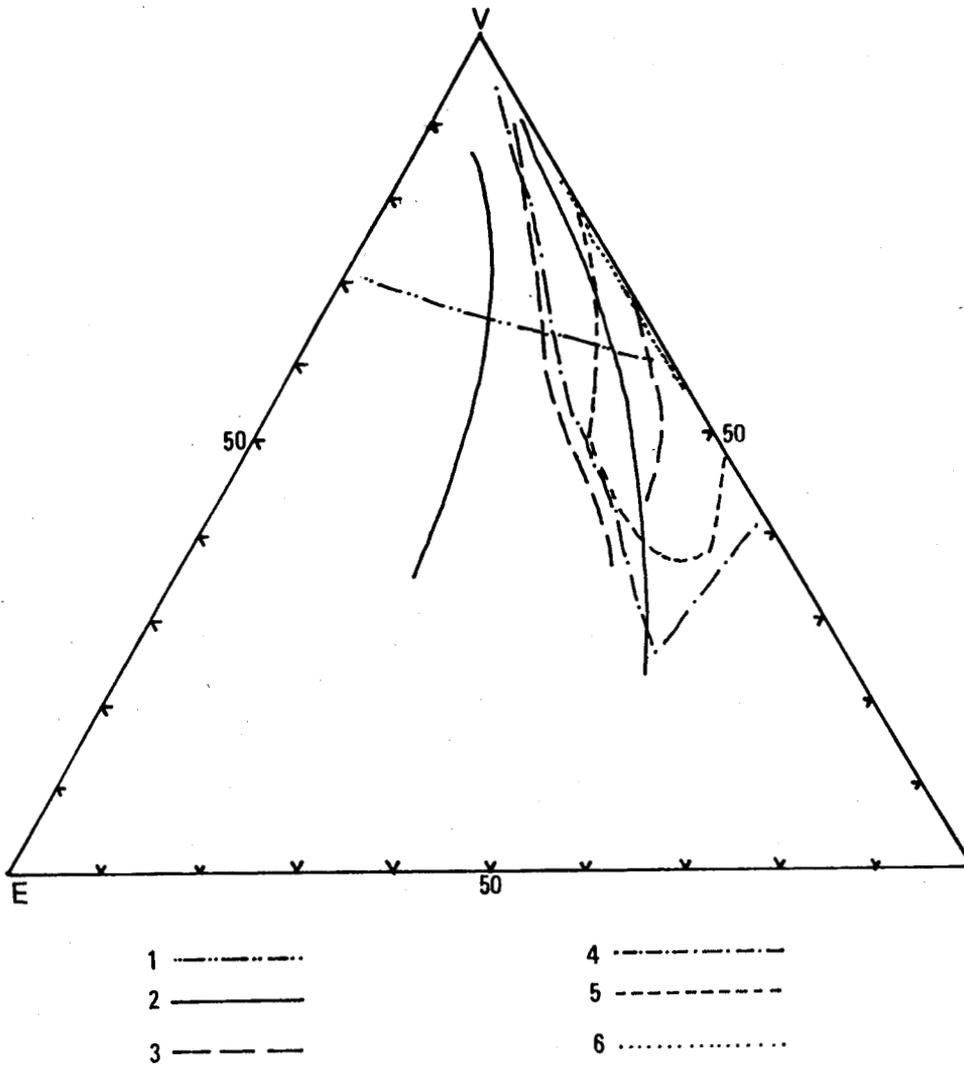


Figure 10. Composition macérale et pouvoir réflecteur

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| 1. $PR < 0,7 \%$ | 2. $0,7 \% < PR < 1,0 \%$ |
| 3. $1,0 \% < PR < 1,3 \%$ | 4. $1,3 \% < PR < 1,7 \%$ |
| 5. $1,7 \% < PR < 2,0 \%$ | 6. $2,0 \% < PR < 2,3 \%$ |

Dans les classes de MV inférieures à 40 %, les pourcentages en exinite augmentent quand on passe de la classe 40 - 33 % à la classe 33 - 28 % MV, puis ils diminuent ensuite à chaque changement de classe.

Quand aux diagrammes PR-VEI (fig. 10, Annexe 2) les bandes ont approximativement les mêmes allures que celles des diagrammes MV - VEI. La répartition des points est quelconque pour la classe de pouvoir réflecteur inférieure à 0,7 %. A partir de 0,7 % de pouvoir réflecteur, les points se groupent en bandes malgré la superposition plus importante et plus compliquée que celle observée pour le diagramme des matières volatiles. Les bandes font aussi les plus petits angles avec le coté opposé à l'exinite.

Ces résultats expriment que les variations de pourcentages en exinite entraînent celles de MV ou PR à partir de 40 % de MV ou de 0,7 % de PR. Les pourcentages en exinite tendent à diminuer lorsque MV diminue ou que PR augmente. Toutefois, les bandes se superposent, les diagrammes ne montrent pas très précisément cette relation.

La superposition des bandes peut être due à :

- un classement trop lâche ; des combustibles ayant subi des houillifications considérablement différentes étant regroupés dans une même classe,
- la relation linéaire entre MV ou PR et la composition macérale n'est pas très forte si bien que la dispersion des pourcentages en exinite est très grande pour une valeur de MV ou de PR ou dans une même classe.

On peut tenter de vérifier la première remarque par la construction de diagrammes représentant des classements plus fins. Dans ce but, les diagrammes ont été construits en retenant cette fois les nombres de classe 10, 20 et 30. Même dans ces conditions, les bandes restent toujours superposées. On peut encore s'assurer du bien-fondé de la première remarque en calculant le coefficient de corrélation entre les pourcentages des macéraux et les valeurs des teneurs en MV ou de PR.

Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, les contours de l'exinite commencent à s'estomper à partir d'un certain stade de houillification. Donc la corrélation exacte ne peut être déterminée que sur des charbons dont la houillification n'est pas arrivée à ce stade. Or le calcul doit s'effectuer sur des charbons de rang égal. Mais, en réalité, le nombre des échantillons de même rang est nettement insuffisant. Pour pallier cet inconvénient, les échantillons ont été classés avec un intervalle de classe de réflectogramme égal à 0,1 %. Dans ces conditions, on peut considérer que les échantillons d'une telle classe présentent approximativement le même rang. 21 classes ont ainsi été définies entre 0,400 et 2,500 PR. Le classement des MV a été réalisé - lui - en retenant un intervalle de 2,500, ce qui a conduit à 20 classes comprises entre 57,5 et 7,5 %.

Le coefficient de corrélation entre les pourcentages des macéraux et MV ou PR sur des échantillons ainsi classés est obtenu par la formule :

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad \begin{array}{l} \text{avec } x = \text{VEI} \\ y = \text{MV ou PR} \end{array}$$

R compris entre - 1 et 1 exprime la corrélation linéaire entre les deux variables. La valeur absolue 1 indique la plus forte corrélation. Le signe négatif indique que y est en partie une fonction décroissante de x et le signe positif indique que y est en partie une fonction croissante de x. Il est alors nécessaire d'estimer la signification du coefficient trouvé. Pour cela on utilise le test de Student-Fisher. On cherche quelle est la probabilité pour que n couples pris au hasard donnent un coefficient de corrélation supérieur ou égal à r en valeur absolue. Cette probabilité p est obtenue en calculant d'une part :

$$t = \frac{|r|}{\sqrt{1-r^2}} \cdot \sqrt{n-2}$$

et en utilisant une table de Student-Fisher d'autre part.

Soit p cette probabilité $0 \leq p \leq 1$

NB d'éch	Classe de MV (%)	PR - EX		PR - IN		NB d'éch	Classe de PR (%)	MV - EX		MV - IN	
		Coef.	Cred.	Coef.	Cred.			Coef.	Cred.	Coef.	Cred.
5	57.5-55.0	-.720	70.0	.740	90.0	32	.4- .5	-.055	.600	.186	.800
15	55.0-52.5	.164	70.0	-.502	97.5	35	.5- .6	-.011	.999	-.111	.700
26	52.5-50.0	-.211	80.0	-.211	80.0	1	.6- .7	-	-	-	-
8	50.0-47.5	-.455	80.0	-.555	90.0	1	.7- .8	-	-	-	-
6	47.5-45.0	-.508	80.0	.251	60.0	23	.8- .9	.461	.975	.045	-
1	45.0-42.5	-	-	-	-	48	.9-1.0	.144	.800	-.035	-
1	42.5-40.0	-	-	-	-	9	1.0-1.1	.618	.950	.632	.950
18	40.0-37.5	-.361	90.0	-.430	95.0	5	1.1-1.2	.979	.995	.984	.995
39	37.5-35.0	-.385	99.0	-.277	95.0	36	1.2-1.3	.532	.999	.151	.800
26	35.0-32.5	-.576	99.5	-.205	80.0	66	1.3-1.4	.111	.800	-.098	.700
12	32.5-30.0	-.168	70.0	.693	99.0	94	1.4-1.5	.127	.800	-.052	.600
18	30.0-27.5	-.237	80.0	.432	95.0	82	1.5-1.6	.214	.950	-.082	.700
89	27.5-25.0	-.078	70.0	.022	00.0	73	1.6-1.7	.213	.950	-.030	.600
143	25.0-22.5	.172	97.5	.210	99.0	25	1.7-1.8	.511	.995	.203	.800
72	22.5-20.0	.065	70.0	-.001	00.0	8	1.8-1.9	.391	.800	-.429	.800
45	20.0-17.5	.012	00.0	-.073	60.0	6	1.9-2.0	-	-	-.651	.900
13	17.5-15.0	-.547	95.0	-.488	90.0	11	2.0-2.1	-.593	.950	-.601	.950
16	15.0-12.5	.268	80.0	-.077	60.0	8	2.1-2.2	-.954	.999	.273	.700
15	12.5-10.0	-.323	80.0	-.477	95.0	8	2.2-2.3	-.150	.600	-.500	.950
9	10.0- 7.5	-.148	60.0	.020	00.0	2	2.3-2.4	-	-	-	-

Tableau 7. Coefficients de corrélation entre le pouvoir réflecteur et les matières volatiles, les pourcentages de macéraux et leurs crédibilités; EX : Exinite ; IN : Inertinite.

La crédibilité c est un pourcentage déduit de p et indiquant la signification de r .

$$C = 100 \cdot (1-p) \%$$

Les résultats ainsi obtenus sont rassemblés dans le tableau 7. Les coefficients de corrélation entre PR et les pourcentages en exinite sont tous négatifs pour des pourcentages en MV compris entre 52,5 et 25,0 %. Entre 57,5 % et 52,5 % MV et entre 25,0 % et 7,5 % de MV, les coefficients sont soit positifs ou négatifs. On doit donc admettre que les pourcentages en exinite sont une fonction décroissante de PR entre 52,5 % et 25,0 % MV.

Les coefficients entre les pourcentages en exinite et MV sont positifs entre 0,8 % et 1,9 % de PR. En dehors de ces limites ils sont négatifs. Il semble donc que les pourcentages en exinite soient en fonction croissante des pourcentages de MV.

Par ailleurs, il n'est pas possible de préciser la relation entre les pourcentages en inertinite et PR ou MV. En effet, les coefficients positifs et négatifs alternent sans aucune régularité avec les changements de classe, même si parfois ils sont considérablement élevés.

Ces résultats peuvent compléter les résultats obtenus à l'aide des diagrammes triangulaires. Dans les diagrammes, la répartition des points forme, rappelons-le, des bandes à partir de 0,7 % de PR ou 40 % de MV. Ces résultats sont en bonne concordance avec ceux du calcul des coefficients de corrélation, à savoir que les pourcentages en exinite sont dans ces limites une fonction de MV ou PR.

Enfin signalons pour terminer que la superposition des bandes peut être due à la dispersion très large des pourcentages en exinite pour certaines valeurs de PR ou de MV. C'est ce que confirment les valeurs faibles des coefficients de corrélation.

III. CONCLUSIONS

Nous avons tout d'abord succinctement rappelé quelques généralités sur les combustibles solides, le mode de préparation des échantillons, les critères de reconnaissance des macéraux utilisés lors des analyses macérales, et les définitions des principaux paramètres de rang. Puis, nous nous sommes principalement attaché à l'attaque oxydante des combustibles évolués, à l'étude des variations des paramètres de rang comme le pouvoir réflecteur et les matières volatiles avec la profondeur, les phénomènes tectoniques et les compositions en groupes de macéraux.

- Cette étude a permis de confirmer que le four à plasma d'oxygène est particulièrement efficace pour l'attaque oxydante de surfaces polies de charbons. Le procédé est simple, utilisable pour une large gamme des combustibles et permet la restitution de contour net des structures botaniques originelles,

- Après le réglage du débit d'oxygène seules les durées d'attaque doivent être modifiées en fonction du combustible étudié,

- Cette étude confirme les résultats obtenus par Delattre et al. (1970) et permet de préciser que cette méthode peut être utilisée sur des combustibles de 28 % à 3,2 % de MV,

- Après attaque, la collinite révèle des contours en relief d'une part et creusés d'autre part. Les corps figurés en relief appartiennent aux tissus ligneux, spores, cuticules et à des petits fragments. Les parties érodées par l'attaque peuvent correspondre aux macéraux mobiles au cours de la houillification comme la gélocollinite, la corpocollinite, la partie du ciment de la desmocollinite et peut-être la résinite.

Les contours peuvent alors être observés en lumière normale sans difficulté. Ils sont parfois si nets que des membranes lamellaires ont pu être restituées.

Le groupe de l'inertinite est en général peu oxydable. La fusinite disparaît souvent après attaque et quelques sclérotinites légèrement oxydées ont pu être observées.

- Le P_{Ro} augmente avec la profondeur actuelle dans 3 sondages sur les 5 que nous avons étudiés. D'une façon générale le P_{Ro} augmente aussi avec l'âge. Il apparaît donc que la houillification du bassin avait eu lieu avant la tectonique comme les études précédentes l'avaient déjà constaté. Cependant, la variation de P_{Ro} et de MV dans le sondage Méricourt 30 peut exprimer qu'une certaine partie des charbons aurait subi une houillification post-tectonique. Mais, en tenant compte de l'âge westphalien C des charbons de ce sondage, de leur profondeur actuelle et des valeurs de leurs P_{Ro} oscillant de 1,040 % à 1,116 %, cette dernière houillification a été très légère et son influence sur les charbons antérieurs au Westphalien C peut être négligée,

- La birélectance a tendance à augmenter avec P_{Ro} ou P_{RM} dans les sondages où aucune faille importante n'a été signalée. Cette allure générale est perturbée dans le sondage Méricourt 30 où une faille importante a été confirmée. La birélectance est plus élevée à proximité de la faille et au-dessus de celle-ci, constante en-dessous de la faille et sans relation avec la variation de pouvoir réflecteur. La birélectance est considérablement élevée au regard de P_{Ro}. Cette variation de la birélectance peut indiquer que la pression tectonique influe sur l'anisotropie non seulement chez les anthracites (M. & R. Teichmüller, 1979) mais aussi chez les houilles peu évoluées,

- Les diagrammes triangulaires montrent que dans certaines limites la composition macérale peut avoir une relation avec le pouvoir réflecteur et les teneurs en matières volatiles. Cela a été confirmé par le calcul de coefficients de corrélations entre les pourcentages des macéraux et le pouvoir réflecteur ou les pourcentages en matières volatiles,

- Enfin, les pourcentages en exinite croissent lorsque les pourcentages en MV augmentent dans les charbons de même rang entre 0,8 % et 1,9 % de PR environ ou lorsque le pouvoir réflecteur diminue dans les charbons de même rang entre 57,5 % et 25 % de MV environ.

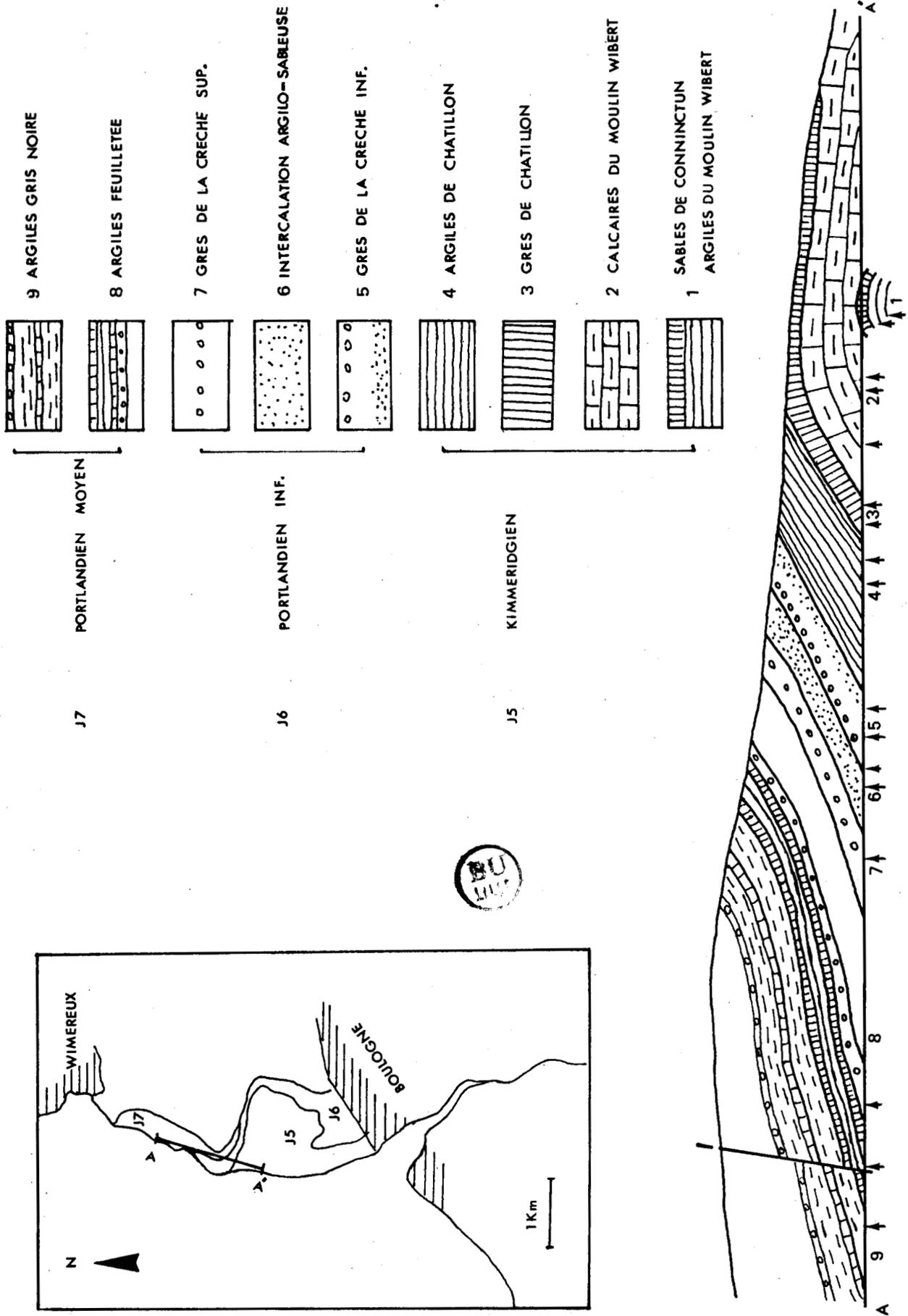


Figure 11. Coupe de la falaise au Cap de la Crèche.

CHAPITRE II

ETUDE DE LA MATIERE ORGANIQUE

DISPERSEE DANS UNE PARTIE DU

JURASSIQUE DU BOULONNAIS

CHAPITRE II

ÉTUDE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DISPERSÉE DANS UNE PARTIE DU JURASSIQUE DU BOULONNAIS

I. GENERALITES

La série du Kimméridgien supérieur-Portlandien inférieur affleure dans la falaise entre Boulogne et le Cap de la Crèche en formant une anticlinal. La matière organique dispersée dans les échantillons provenant de cette série (fig. 11) a été étudiée selon une méthode particulière qui sera exposée ultérieurement.

Cette série a été décrite par Pruvost (1925) et Bonte (1969). Bonte y distingue :

Kimméridgien supérieur :

- . Argiles du Moulin Wibert (20 m) comprenant des marnes noires, pyriteuses parfois glauconieuses et renfermant quelques bancs de calcaires marneux,
- . Sables de Coninctum (5 m) constitués par le mélange de sables glauconieux et de marnes sableuses,
- . Calcaires du Moulin Wibert (14 m) formés de calcaires marneux et de marnes plus ou moins sableuses,
- . Grès de Châtillon (5 m) jaunes et légèrement glauconieux,
- . Argiles de Châtillon (25 m) comprenant des argiles pyriteuses gris foncé à rares bancs de lumachelles et à lits de gros nodules de calcaire compact ;

Portlandien inférieur :

- . Grès de la Crèche inférieur (10 m) est formé dans l'ensemble par des grès calcaireux,
- . Intercalations argilo-sableuses (3 à 5 m) parfois graveleuses et quelques petites bandes de lignites,
- . Grès de la Crèche supérieur (5 m) comprend du grès calcaireux et de l'argile sableuse,

Portlandien moyen :

Ensemble argileux coupé de bancs calcaires plus ou moins continus,

- . Argiles feuilletées noires fines marquées par deux bancs jumeaux de calcaire au sommet et un niveau phosphaté dit de la Rochette,
- . Argiles gris noir ; au sommet, le niveau phosphaté de la Tour de Croï.

Les études pétrographiques de matière organique dispersée sont conduites selon une méthode analogue à celle utilisée pour la pétrographie des charbons. La matière organique dispersée provient - bien entendu - de débris végétaux et a subi des phénomènes de transformation similaire à ceux des charbons. A cause de la petite taille des grains et de leur très faible quantité l'étude en est particulièrement délicate. Il est d'ailleurs, comme nous allons le voir, très souvent nécessaire de concentrer la matière organique selon certains procédés.

I.1. PREPARATION DES ECHANTILLONS

I.1.1. Concentration de la matière organique dispersée (M.O.D.)

La concentration peut être effectuée par voie chimique ou physique. Pour les études pétrographiques, afin d'éviter l'altération ou l'oxydation de la matière organique redoutée dans le cas de la concentration chimique, on préfère s'en tenir à des procédés purement physiques.

Quand la matière organique est abondante et les grains suffisamment gros, on peut extraire les grains à l'aide d'une pointe de couteau. Mais le plus souvent, les grains sont petits et leur quantité faible. On doit alors procéder à une concentration de matière organique.

La procédure s'effectue selon 2 ou 3 étapes : le broyage, la séparation de la matière organique et des minéraux et/ou leur concentration par liqueur dense.

Les échantillons sont broyés afin d'obtenir des grains d'environ 0,5 mm. Après broyage, presque tous les procédés de séparation des minerais peuvent être utilisés : flottation, méthode

ultrasonique, méthode électromagnétique et électrostatique (Durand et al., 1980).

Dans cette étude, nous avons utilisé une cellule de flottation. Le principe est le suivant :

I.1.1.1. Mode préparatoire

- Préparation de l'échantillon

L'expérience a montré que pour obtenir une bonne séparation, la granulométrie optimale doit être comprise entre 100 et 500 micromètres. Pour cela, on utilise un concasseur à cônes réglables en suivant la méthode préconisée pour la confection d'échantillons en grains.

Il faut opérer avec une concentration de 200 g d'échantillon par litre d'eau contenu dans la cuve. Toutefois si la granulométrie est inférieure à 100 micromètres, il est conseillé d'augmenter cette concentration.

- Préparation du réactif

On utilise un mélange de deux réactifs A et B

A = réactif collecteur (fuel oil)

B = réactif moussant (dans le cas présent du M.I.B.C., méthylisobutylcarbinol)

Lors d'un traitement industriel, on utilise 100 g de A + B par tonne de matière traitée, ce qui représente environ 2 à 3 gouttes dans un tube à essais rempli d'eau pour une expérience de laboratoire.

On prépare donc une série de tubes remplis d'eau où l'on ajoute :

1/4 de goutte de A	+	1/4 de goutte de B
1/2 goutte de A	+	1/2 goutte de B
1 goutte de A	+	1 goutte de B
2 gouttes de A	+	2 gouttes de B
etc...		

En réalité, on procède par tâtonnements car la concentration du réactif à utiliser varie selon la nature des sédiments à traiter. Avec des schistes par exemple, de bons résultats ont été obtenus en utilisant deux gouttes de réactif moussant pour une goutte de réactif collecteur.

I.1.1.2. Mode opératoire

La concentration optimale définie plus haut est obtenue en calculant le poids de poudre à traiter en fonction du volume de la cellule utilisée. On fabrique un mélange poudre + eau, la quantité d'eau utilisée étant sensiblement égale à la moitié du volume de la cellule.

On verse un peu d'eau dans la cellule et l'agitateur, plongeant dans l'eau, est mis en marche. On ajoute alors le mélange poudre + eau, le moteur continuant à tourner. En opérant ainsi on évite la sédimentation de la poudre au fond du bac et son broyage par l'agitateur lors de la mise en marche du moteur. On ajoute ensuite de l'eau en quantité suffisante pour remplir complètement la cellule. Il convient d'y verser de l'eau tout au long de la manipulation afin de maintenir le niveau au ras du déversoir.

A ce moment, on vide un tube de réactif dans l'entonnoir latéral de l'appareil en commençant par les concentrations les plus faibles. On ouvre le robinet de l'entonnoir, le réactif passe dans la cellule. Le robinet est laissé ouvert, ce qui permet l'arrivée d'air par aspiration et la formation de bulles dans le liquide. Les bulles remontent en surface en entraînant la matière organique et forment une mousse.

On ajoute du réactif jusqu'à ce que l'on obtienne une bonne mousse, c'est-à-dire une mousse fine, serrée et persistante. On peut affiner la qualité de la mousse en faisant varier la vitesse de rotation de l'agitateur et en ouvrant plus ou moins le robinet latéral d'arrivée d'air.

La mousse est récupérée dans un récipient à l'aide d'une spatule puis séchée. Elle peut être recueillie par fraction en fonction des concentrations de réactif utilisé.

Le réactif B, choisi ici, permet un accrochage préférentiel de la matière organique. Des stériles peuvent cependant être entraînés, l'accrochage aux bulles d'air étant indépendant de la densité des particules. De ce fait, il est possible de traiter à nouveau le produit obtenu afin d'avoir une meilleure concentration de la matière organique.

Les matières organiques séparées par la flottation voient encore avec une petite fraction minérale mais elles sont généralement suffisamment concentrées pour affiner la concentration en ayant recours au procédé de la liqueur dense. Le premier concentré doit au préalable être lavé plusieurs fois sous l'eau et séché au-dessous de 60° C.

Après le séchage, la matière organique est alors finalement concentrée par la liqueur dense à une densité de 1,8. Dans cette étude, nous avons utilisé le bromure de zinc. Le concentré obtenu est lavé à l'eau pour éliminer le bromure de zinc et enfin séché.

Au cours de cette étude, nous avons trouvé une méthode de fortune pour séparer la M.O.D. dans les argiles. L'échantillon broyé est passé au tamis 0,1 mm sous l'eau en écrasant les argiles à la main. Les argiles et les grains inférieurs à 0,1 mm constituent le passant. Cinq minutes suffisent pour traiter 1 kg d'échantillons, par cette méthode. De la matière organique en quantité suffisante a été obtenue à partir des argiles qui par ailleurs n'en ont pas fourni par flottation.

I.1.2. Enrobage

Malgré la concentration, l'enrobage reste délicat à cause de la très faible quantité de matière organique. Les matières organiques concentrées sont enrobées dans 2 ou 3 gouttes de résine synthétique dans un moule. On favorise leur dépôt en les mélangeant à la résine à l'aide d'une aiguille. On laisse alors la résine durcir pendant 24 heures. De la résine est alors ajoutée de manière à constituer un bloc maniable lors du polissage.

I.1.3. Polissage

Le polissage s'effectue selon le même procédé que pour les blocs de charbon. Toutefois, pour l'aplanissement, il est préférable d'utiliser des papiers abrasifs 400 A et 600 A.

I.2. CLASSIFICATION DES CONSTITUANTS

Les constituants des matières organiques dispersées peuvent être classés selon deux manières. L'une est fondée sur la morphologie comme pour les macéraux des charbons. Les termes charbonniers sont alors utilisés. L'autre fait appel à la classification proposée par Alpern (1970) donnant la priorité à la nature originelle des constituants.

Dans notre étude, les constituants ont été groupés en deux selon leur forme et dans la mesure du possible les termes charbonniers ont été utilisés pour les constituants élémentaires.

Le groupe des constituants amorphes désigne les matières organiques dont la structure cellulaire n'est pas visible par la méthode habituelle. Il peut correspondre à la collinite ou à l'humocollinite des lignites constituée de gel humique ou de tissus végétaux totalement gélifiés.

Le groupe des constituants figurés désigne la matière organique dont la structure cellulaire est encore visible. Il peut comprendre les groupes de l'exinite, de l'inertinite et de l'humotélinite composée de membranes cellulaires de tissus. La couleur varie du gris foncé au gris. Elle est subdivisée en textinite provenant de membranes non gélifiées et en ulminite issue des membranes gélifiées.

I.3. MESURE DE POUVOIR REFLECTEUR

Le principe de la mesure est le même que celui décrit dans le premier chapitre, la lumière étant ici non polarisée. Une mesure est faite sur le constituant amorphe d'un grain de matière organique, quelle que soit son origine. La valeur moyenne représentative a été déterminée à partir du réflectogramme.

II. RESULTATS

La matière organique concentrée a été obtenue par les deux méthodes décrites précédemment à partir de 10 échantillons parmi 18 prélevés. Les constituants ont été étudiés qualitativement et la

réflectance a été mesurée. En raison de la faible quantité des concentrés obtenus, l'analyse quantitative des constituants n'a pu être effectuée. En outre, la concentration par différentes méthodes aurait fourni peu de signification aux résultats.

II.1. ANALYSE DES CONSTITUANTS

Le groupe des constituants amorphes comprend deux types même s'il a été difficile de les distinguer.

Le premier type correspond aux grains des matières organiques présentant généralement des constituants figurés (pl. IX, photo 1-4). Il a une réflectance plus élevée que le second type. Il peut correspondre à la collinite.

Le deuxième type forme, en général, des grains presque homogènes (pl. IX, ph. 5-6 ; pl. X, ph. 1 à 6). Par ses caractères morphologiques, il peut :

- renfermer souvent des impuretés (pl. X, ph. 3), des petits points blancs (pl. IX, ph. 5 ; pl. X, ph. 5) ou des trous minuscules (pl. IX, ph. 5, 6 ; pl. X, ph. 2, 4, 5),
- présenter parfois des fissures (pl. IX, ph. 5, 6 ; pl. X, ph. 5, 6),
- montrer beaucoup de rayures de polissage marquant ainsi sa faible dureté (pl. X, ph. 1 à 6).

Sa réflectance est moins élevée que celle du premier type. Par ses aspects morphologiques ce type de M.O.D. montre beaucoup de ressemblance avec la bituminite (Alpern, 1970 ; Alpern et al., 1978) et le bitume (Robert, 1974). Une partie au moins peut donc être du bitume. Ce groupe n'est pas fluorescent.

Les constituants figurés observés sont la fusinite (pl. XI, ph. 1, 2), la semifusinite (pl. IX, ph. 2, 4), la sclérotinite (pl. XII, ph. 1, 2), l'inertodétrinite (pl. IX, ph. 2, 4), la cutinite (pl. IX, ph. 3 ; pl. XII, ph. 3, 4, 5), la sporinite (pl. IX, ph. 1 à 4 ; pl. XII, ph. 6, 7) et la textinite (pl. XI, ph. 6). Ils se présentent soit associés aux autres constituants, soit en grains isolés. Les cavités cellulaires sont vides (pl. XI, ph. 2, 3, 5) ou remplies par des minéraux ou un constituant amorphe (pl. XI, ph. 1, 4).

Des traces de remaniement ont souvent été observées. Les grains sont en effet bien ronds (pl. XII, ph. 2) ou à bords altérés (pl. XI, ph. 1 et 2). Les fragments de macrospore présentent une réflectance relativement élevée (pl. XII, ph. 6). Dans la majorité des cas, la cutinite et la sporinite sont fluorescentes, mais, un fragment de macrospore apparemment remanié, n'est pas fluorescent.

II.2. POUVOIR REFLECTEUR

A partir des valeurs mesurées des réflectogrammes ont été construits (Annexe 3) et la valeur moyenne de la réflectance et l'écart-type de chaque échantillons ont été déterminés. Quand un réflectogramme présente plusieurs populations, les mêmes valeurs ont été calculées pour chaque population. Dans ce dernier cas, il faut définir la population représentative. Mais il est difficile de la déterminer à partir d'un seul réflectogramme. Il convient alors de comparer les réflectogrammes les uns aux autres.

5 échantillons sur dix ont 2 populations importantes et les autres une seule comme l'indique le tableau 8.

No d'éch.	POURCENTAGES		ECART-TYPE	
6-1	0.226	-	0.041	-
7-1	0.128	0.357	0.014	0.055
7-2	0.141	-	0.029	-
55	0.205	-	0.030	-
5-3	0.173	-	0.048	-
44	0.209	0.505	0.033	0.068
5-1	0.144	0.506	0.029	0.092
33	0.400	0.557	0.068	0.053
3	-	0.565	-	0.075
2-2	0.447	0.658	0.070	0.119

Tableau 8. Pouvoir réflecteur des M.O.D. dans le Boulonnais.

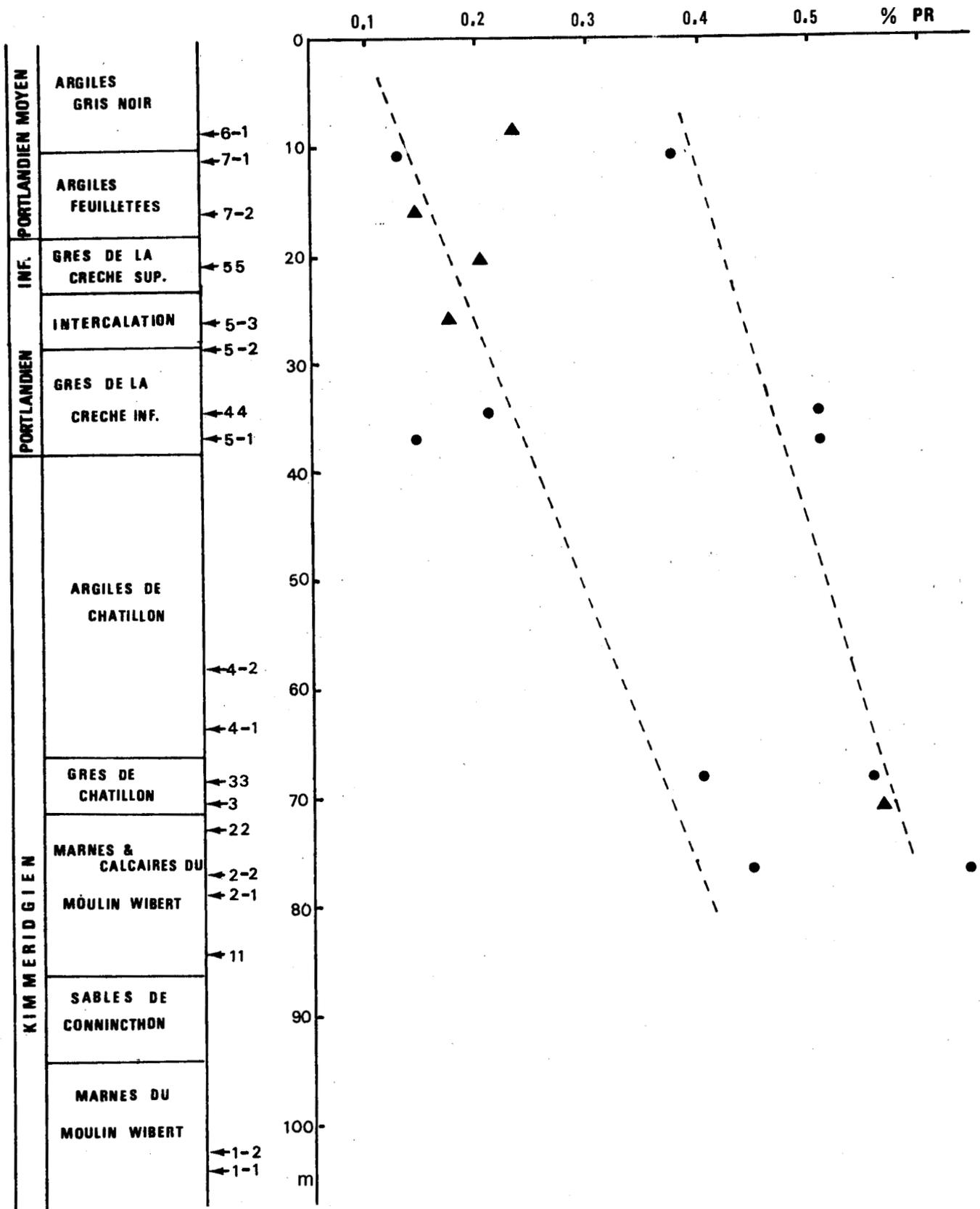


Figure 12. Variation du pouvoir réflecteur avec la position stratigraphique. Légende : ▲ Echantillon présentant une seule population de PR ; ● Echantillon à deux populations bien distinctes.

Les valeurs de pouvoir réflecteur des premières populations des échantillons 7 - 1, 44 et 5 - 1 sont trop basses pour être prises comme valeurs représentatives. Les valeurs des deuxièmes populations sont meilleures en tenant compte que des petites bandes de lignite y sont intercalées. D'autre part, celles des deuxièmes populations sont plus proches des 0,4 % à 0,67 % de PR du Kimméridgien de la Mer du Nord mesurés par Dypvik et al., (1979) sur des échantillons provenant de 4 sondages. Les résultats d'observation morphologique sont aussi favorables à cette hypothèse. Les constituants amorphes ayant une réflectance relativement élevée peuvent être considérés dans la majorité des cas comme de la vitrinite, tandis que les constituants possédant une réflectance proche de celle des premières populations ne peuvent pas être identifiés à la vitrinite avec certitude malgré leur caractère amorphe. Leurs réflectances sont plutôt proches de celles de bitume du bassin parisien (Alpern et al., 1978). Il est donc plus raisonnable de considérer que les deuxièmes populations représentent la réflectance de la vitrinite. Les valeurs des deux populations de l'échantillon 33 sont proches et la valeur de la première population est relativement élevée par rapport à celle des précédents échantillons, tout en étant moins élevée que celle de la deuxième population de l'échantillon 5-1. La valeur de la deuxième population de l'échantillon 33 est plus proche de la deuxième de 5-1 et 44. C'est pourquoi nous avons considéré la deuxième population comme la population représentative de l'échantillon 33.

Les autres échantillons présentant une seule population, nous avons construit le diagramme PR - Profondeur stratigraphique (fig. 12). Le diagramme montre bien la tendance générale de l'évolution de chaque groupe de population. La réflectance de l'échantillon 3 est plus proche de la ligne d'évolution de la deuxième population.

D'autre part, en comparant la variation de réflectance des 2 groupes, on peut constater que les réflectances de la première population augmentent plus vite que celles de la deuxième population. C'est un aspect de la variation de la réflectance du bitume. Selon Robert (1980), la réflectance du bitume est considérablement

plus basse que celle de la vitrinite au stade du lignite (bituminous coals) et proche de celle de la vitrinite entre 0,5 et 1,5 % PR. Ce résultat peut confirmer l'hypothèse précédente que les deuxièmes populations représentent la réflectance de la vitrinite.

Chaque groupe étant ainsi distingué, il apparaît que leur réflectance respective augmente avec la profondeur stratigraphique. En tenant compte du fait que les échantillons ont été prélevés à la même altitude, cette variation de la réflectance exprime que la réflectance actuelle des matières organiques avait été atteinte avant la tectonique.

Deconinck et al., (1982) ont procédé à l'étude minéralogique de la série du Boulonnais et en particulier des sédiments objets de notre étude. Ils estiment que l'essentiel des minéraux argileux est hérité. Ils s'appuient sur l'ubiquité des formes minérales de transition, tels que les interstratifiés irréguliers, l'absence de changements minéralogiques de sens constant, la présence d'illite, de chlorite et de kaolinite, et les fluctuations de la cristallinité de l'illite. Autrement dit, les minéraux argileux n'ont pas été influencés par l'effet d'enfouissement.

S'appuyant sur des études comparatives effectuées sur le rang des charbons et le métamorphisme des minéraux, Kisch (1968, 1969) a montré qu'à partir d'une certaine limite, l'enfouissement influe sur les minéraux argileux. Ainsi, l'illite authigène apparaît et la kaolinite disparaît lorsque les teneurs en matières volatiles des charbons atteignent 17 %. On peut donc admettre que dans le Boulonnais la série n'a jamais été soumise à des conditions telles que le charbon aurait pu atteindre un tel rang. Les mesures du pouvoir réflecteur que nous avons effectuées sur les matières organiques dispersées sont égales à 0,6 % ce qui les place très loin de la limite des 17 % de matières volatiles.

III. CONCLUSIONS

Une étude pétrographique a été réalisée sur la matière organique contenue dans le Kimméridgien supérieur et le Portlandien inférieur du Boulonnais. Parmi les constituants de la matière organique deux groupes ont été distingués : le groupe des constituants amorphes et le groupe des constituants figurés.

Le groupe des constituants amorphes comprend la collinite et le bitume qui peuvent être difficilement distingués par leurs caractères morphologiques et optiques en lumière réfléchie. La fusinite, la semifusinite, la sclérotinite, la cutinite, la sporinite et la textinite représentent les constituants figurés.

Les valeurs de la réflectance mesurée sur les constituants amorphes forment deux populations importantes sur les réflectogrammes. La population ayant la valeur moyenne la moins élevée représente la réflectance du bitume et la population ayant la valeur la plus élevée, celle de la vitrinite. La réflectance de deux types de constituants amorphes augmente respectivement en descendant stratigraphiquement. Donc l'évolution de la matière organique étudiée était acquise avant la tectonique à l'origine de l'anticlinal dans la région.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- ALPERN B. (1969). - Le pouvoir réflecteur des charbons français. Applications et répercussions sur la théorie de A. Duparque. Ann. Soc. géol. Nord, 1969, 89, 2, p. 143-166, Lille.
- ALPERN B. (1970). - Classification pétrographique des constituants organiques fossiles des roches sédimentaires. Rev. Inst. Franç. pétrole, 25, p. 1233-1266, Paris.
- ALPERN B. (1976). - Introduction aux roches combustibles et roches combustibles solides. Les Sciences, 106, p. 169-196, Paris.
- ALPERN B. (1980). - Pétrographie du Kérogène - in Durand B. (Edit.), Kerogen, p. 339-371, Technip, Paris.
- ALPERN B. et CHEYMOL D. (1978). - Réflectance et fluorescence des organoclastes du Toarcien du bassin de Paris en fonction de la profondeur et de la température. Rev. Inst. Franç. pétrole, 33, p. 515-535, Paris.
- BONTE A. (1969). - Le Boulonnais. Ann. Soc. géol. Nord, 89, p. 23-46, Lille.
- BOUROZ A. (1969). - Le Carbonifère du Nord de la France. Ann. Soc. géol. Nord, 89, p. 47-65, Lille.
- CECIL C.B., STANTON R.W., ALLSHOUSE S.D. et COHEN A.D. (1979). - Effects of pressure on coalification. 9 th. internat. Congr. Carbonif. Strat. Geol., Abstr., p. 32, Urbana, Ill.
- DECONINCK J.M., CHAMLEY H., DEBRABANT P. & COLBEAUX J.P. (1982). - Le Boulonnais au Jurassique Supérieur : données de la minéralogie des argiles et de la géochimie. Ann. Soc. géol. Nord, 102, p. 145-152, Lille.
- DELATTE Ch. et MERIAUX E. (1966). - Sur un aspect particulier et sur une origine de la micrinite fine. Ann. Soc. géol. Nord, 86, p. 187-188, Lille.
- DELATTE Ch., DOLLE P., MERIAUX E. et QUINOT G. (1970). - Examen pétrographique de charbons après oxydation dans un four à plasma. C.R.Acad. Sci., 270, p. 1753-1755, Paris.

- DELATTRE Ch. et MERIAUX E. (1973). - A propos de la pétrologie des houilles.
Bull. des professeurs de Biologie - géologie, 3, p. 3-30, Paris.
- DURAND B. et NICAISE G. (1980). - Procédures for kerogen isolation. In Durand (Edit.),
Kerogen, p. 35-53, Technip, Paris.
- DYPVIK H., LUESLATTEN H.G. et THRONDSSEN T. (1979). - Composition of organic
matter from North Atlantic Kimmeridgian. A.A.P.G.B., 63,
p. 2222-2226, New York.
- HACQUEBARD P.A. et AVERY M.P. (1984). Geological and geothermal effects on coal
rank variations in the Carboniferous Basin of New Brunswick.
current Research, part. A, Geol.Sury. Canada, paper 84-IA,
p. 17-28.
- HACQUEBARD P.A., BIRMINGHAM T.H. & DONALDSON J.R. (1967). - Petrography of canadian
coals in relation to environment of deposition. Symp. Science
and Technol. of Coal, p. 84-97.
- I.C.C.P. (1963, 1971). - Lexique international de pétrographie des charbons du
Comité International de pétrographie des charbons, C.N.R.S.,
Paris.
- JONGMANS W.J. & KOOPMANS R.G. (1933). - Kohlenpetrographische Nomenklatur. Geol.
Bur. Heerlen Jaarverslag, p. 49-62.
- KISCH H.J. (1968). - Coal rank and lowest-grade regional metamorphism the southern
Bowen Basin, Queensland, Australia. Geologie & Mijnbouw, 47,
n° 1, p. 28-36.
- KISCH H.J. (1969). - Coal-Rank and Burial Metamorphic Mineral Facies. Adv. Organ.
Geochem. 1968, p. 407-425, Pergamon Press, Oxford.
- KROEGER C. (1964). - Zur Struktur und Konstitution der Stein kohlen. Erdöl u.
Kohle, 17, p. 802-811.
- LEMOS DE SOUSA M.J. (1972). - Sur une méthode semi-automatique d'étude du pouvoir
réflecteur des constituants des matières organiques sédimentaires
fossiles insolubles. Publicação es do Museu e Laboratorio Mineralo-
gico e Geologico, n° 134 - 4.a Série, Porto.
- MACKOWSKY M. Th. (1973). - Comparative petrography of Gondwana and northern hemi-
sphere coals related to their origin, III. Int. Gondwana Symp.,
Canberra.

- MACTAVISH R.A. (1978). - Pressure retardation of vitrinite diagenesis offshore north - west Europe, Nature, 271, p. 648-650, London.
- MERIAUX E. (1969). - Contribution à l'étude pétrographique de houilles du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais. Ann. Min. Belg., n° 4, 5, p. 329-387, 469-516, Liège.
- NANDI B.N. & MONTGOMERY (1967). - Thermal behaviour of massive and granular micrinite. Fuel, 46, p. 394-398.
- PRUVOST P. (1925). - Observations sur la structure du Cap Gris-Nez et sur les mouvements qui ont affecté le pays boulonnais, après le dépôt du Jurassique. Bull. Serv. carte géol. France, n° 156, t. 28, p. 1-71, Paris.
- RABEN J.D. & GRAY R.J. (1979). - The nature of highly deformed anthracites and meta-anthracites in southern New England, 9th Internat. Congr. Carbonif. Strat. Geol., Abstr., p. 169, Urbana, Ill.
- ROBERT P. (1974). - Analyse microscopique des charbons et de bitumes dispersés dans les roches et mesure de leur pouvoir réflecteur. Application à l'étude de la paléogéothermie des bassins sédimentaires et de la genèse des hydrocarbures. Adv. in Organ. Geoch., p. 551-569, Paris.
- ROBERT P. (1980). - The optical evolution of kerogen and geothermal histories applied to oil and gas exploration, in DURAND (Edit.) Kerogen, p. 385-414, Technip, Paris.
- SEYLER C.A. (1929). - The microscopical examination of coal. D.S.I.R., Fuel Res. phys. and chem. Surv. National Coal Resources, 16, p. 67, London.
- SPACKMAN W. & BARGHOORN E.S. (1966). - Coalification of woody tissue as deduced from a petrographie study of Brandon lignite Coal Science, Adv. chem., ser. 55, p. 695-707. Washington, D.C.
- STACH E. (1936). - Zur Petrographie der Saarfettekohle. Abh. press. geol. L. A., N. F., 171, p. 83-104, Berlin.
- STACH E. & DEPIREUX J. (1965). - Künstliche radioaktive Inkohlung. Brennst. Chemie, 4 b, p. 8-13.

- TEICHMÜLLER M. (1974). - Uper neue Macerale der Liptinit-Gruppe und die Entstehung des Micrinitis. Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., 24, p. 37-64.
- TEICHMÜLLER M. & TEICHMÜLLER R. (1979). - Diagenesis of coal (Coalification). in LARSEN G. & CHILINGAR G.V. (Edit.) Diagenesis in sediments and sedimentary rocks, p. 207-246, Elsevier, Amsterdam.
- TEICHMÜLLER M. & TEICHMÜLLER R. (1982). - The geological basis of coal formation, in STACH E. et al. (eds) Stach's text book of coal petrology, p. 5-86, Gebrüder Borntraeger.
- THIESSEN R. & SPRUNK G.C. (1936). - The origin of the finely divided or granular opaque matter in splint coals. Fuel 15, p. 304-315, London.
- VAN KREVELEN D.N. (1961). - Coal, Elsevier, Amsterdam.

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

CHAPITRE I

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

Photo 1. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B; 1,587 % PRO ; 15,8 % MV, L.P.

La surface polie a été protégée de l'attaque par une feuille d'aluminium. La collinite ne montre aucune structure botanique. La micrinite fine est blanchâtre.

Photo 2. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B; L.P.

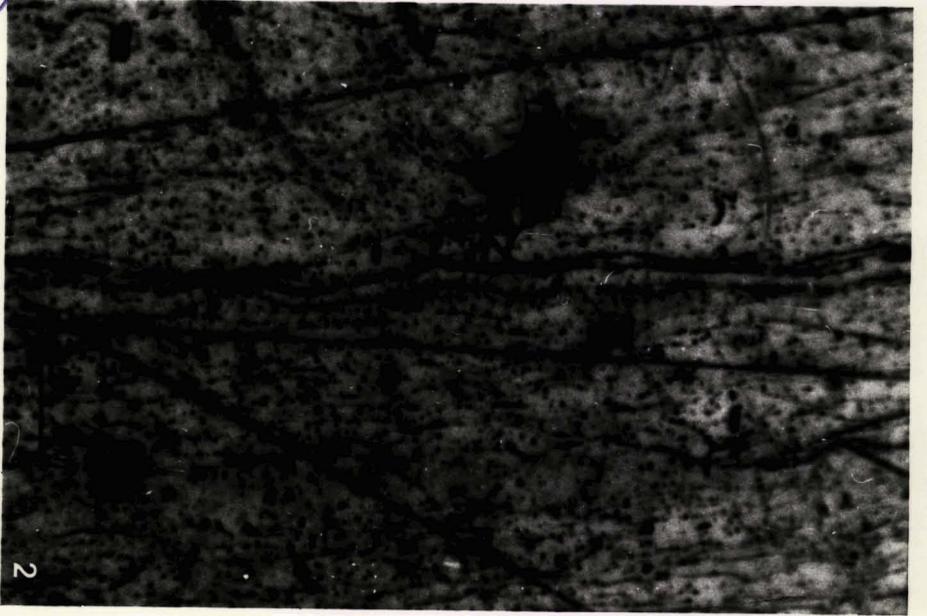
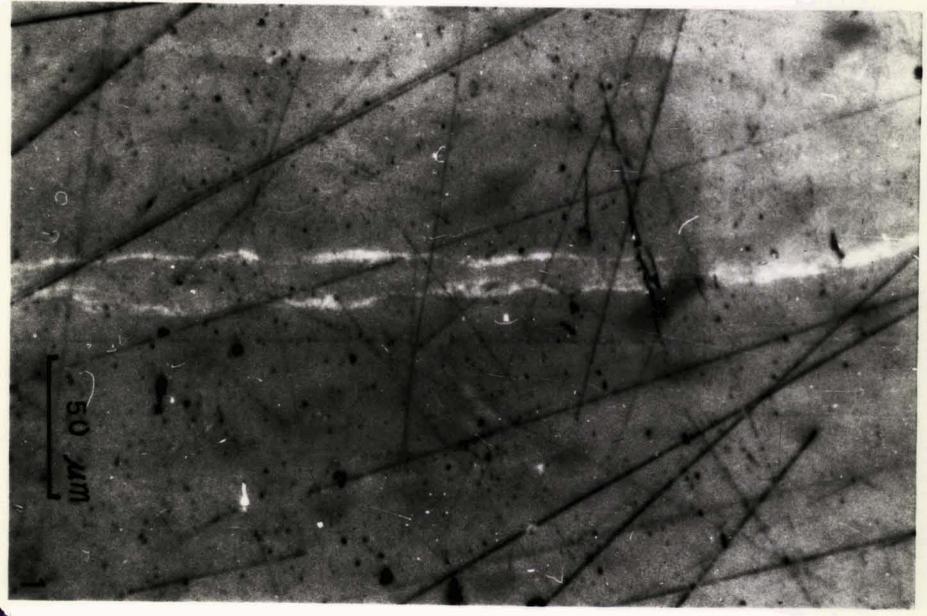
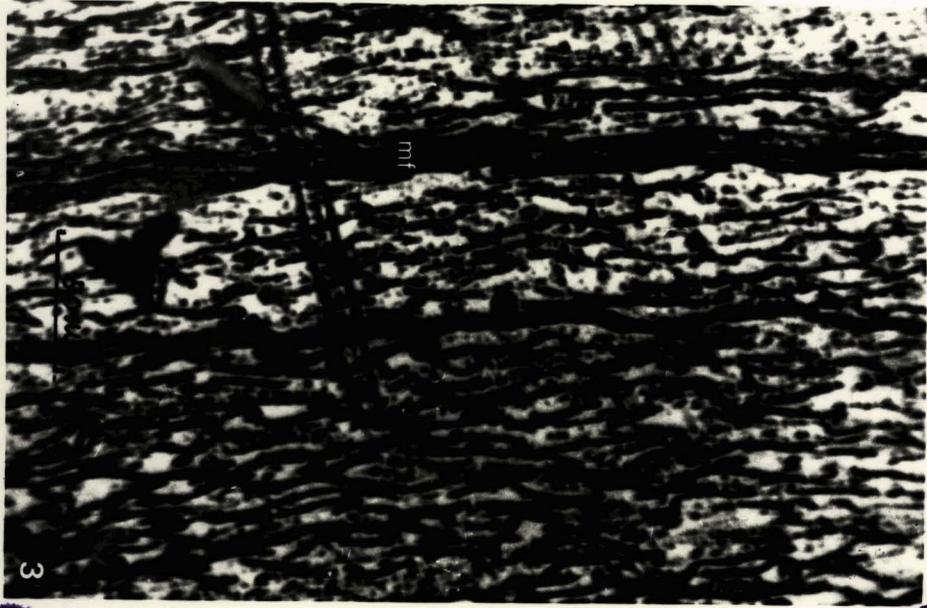
Il s'agit de la même plage que la photo 1. Surface oxydée. La collinite et la micrinite fine ont été légèrement attaquées à la limite de la partie masquée par la feuille d'aluminium. De petits trous résultant de l'oxydation sont apparus, la couleur de la micrinite fine passe du blanchâtre à l'orange. Toutefois la structure botanique n'est pas encore bien discernable.

Photo 3. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B; L.P.

Il s'agit du même échantillon que sur la photo 1 mais d'une zone bien oxydée. La collinite et la micrinite fine (mf) ont été franchement attaquées. Les bandes de micrinite sont noircies. La collinite montre maintenant deux parties : l'une restant en relief et blanche et l'autre en creux et noire. La première est constituée de fragments de tissus ligneux, la seconde peut être considérée comme de la gélocollinite en raison de l'aspect qu'elle présente entre ou dans les tissus ligneux.

Photo 4. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B; L.P.

Après l'attaque suffisante, on peut maintenant identifier une macrospore (S) dont la cavité est marquée par l'oxydation de la micrinite fine (mf).



BU FILE

BU FILE

PLANCHE II

Photo 1. Sondage Loos 6 ; 570,45 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,462 % P_{Ro} ; 18,3 % MV, L.P.

La partie protégée de l'oxydation, en haut de la photo ne montre aucune structure. Sur la partie basale la structure télinitique a été rendue visible par l'oxydation.

Photo 2. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,587 % P_{Ro} ; 15,8 % MV, L.P.

La photo montre la restitution de la structure botanique grâce à l'oxydation. Sur la partie protégée et non oxydée située en haut de la photo, aucune structure botanique n'est visible, si ce n'est quelques fragments d'inertinite sur le côté gauche. Il n'est pas sûr que les petits trous gris soient dus à l'oxydation en raison d'une mauvaise protection de l'attaque ou au choc thermique lors de l'attaque.

Au centre, on peut voir quelques contours peu accusés à l'issue de la légère oxydation. En bas, la structure des tissus ligneux est très bien visible ainsi que des parois lamellaires. La partie oxydée est considérée comme du gel selon l'aspect qu'elle présente entre les tissus ligneux ou entre les lamelles des parois.

Photo 3. Sondage Méricourt 30 ; 984,95 m ; Faisceau d'Ernestine, Westphalien C ; 1,102 % P_{Ro} ; 28,25 % MV.

En général la sclérotinite résiste à l'oxydation comme le montre cette photo.



BU
LILLE

PLANCHE III

Photo 1. Sondage Méricourt 30 ; 984,45 m ; Faisceau d'Ernestine, Westphalien C ; 1,102 % PRO ; 28,25 % MV, L.P.

Photo 2. Sondage Loos 6 ; 640,90 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,662 % PRO ; 15,1 % MV, L.P.

Photo 3. Sondage Loos 6 ; 640,90 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,662 % PRO ; 15,1 % MV, L.P.

Photo 4. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,587 % PRO ; 15,8 % MV, L.P.

Les photos montrent la structure télinitique en raison de l'oxydation des matériels remplissant les cavités des cellules.



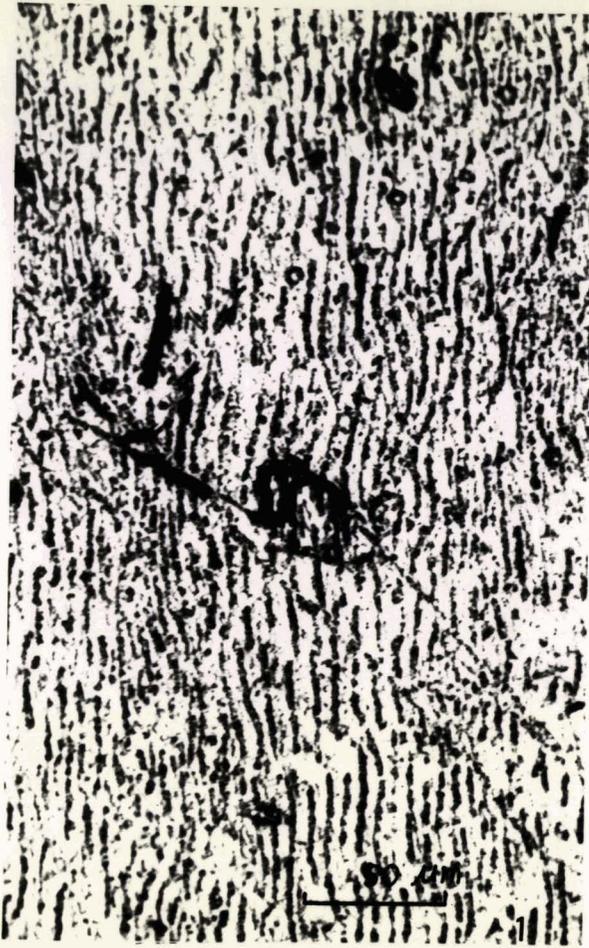


PLANCHE IV

Photo 1. Sondage Loos 6 ; 377,50 m ; Faisceau de Pouilleuse, Westphalien C ; 1,251 % P_{Ro} ; 20,2 % MV, L.P.

Des spores (s) peuvent être identifiées grâce à l'oxydation des constituants remplissant les cavités centrales des spores et le ciment.

Photo 2. Sondage Loos 6 ; 570,45 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,462 % P_{Ro} ; 18,3 % MV, L.P.

Par l'oxydation du ciment de petits corps ovales (s?) sont apparus. Il est difficile d'affirmer qu'il s'agisse de spores en l'absence de cavité centrale nette. Toutefois par comparaison avec la macrospore (s) présentant le même aspect qu'eux, nous les avons considérés comme des spores.

Photo 3. Sondage N° 19 ; 1232,60 m ; Namurien, 173 m sous Laure ; 2,849 % P_{Ro} ; 7,1 % MV, L.P.

Une macrospore est ici bien visible même si son contour est moins net que sur les autres photographies. L'exine est aussi partiellement oxydée.

Photo 4. Sondage Loos 6 ; 640,90 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,662 % P_{Ro} ; 15,1 % MV, L.P.

Des sporinites sont visibles en raison de l'oxydation des cavités et du ciment. Sur l'exine épaisse beaucoup de trous sont apparus. Il n'est sûr que cette oxydation soit due au caractère originel de la sporinite ou à l'effet de l'augmentation du rang.

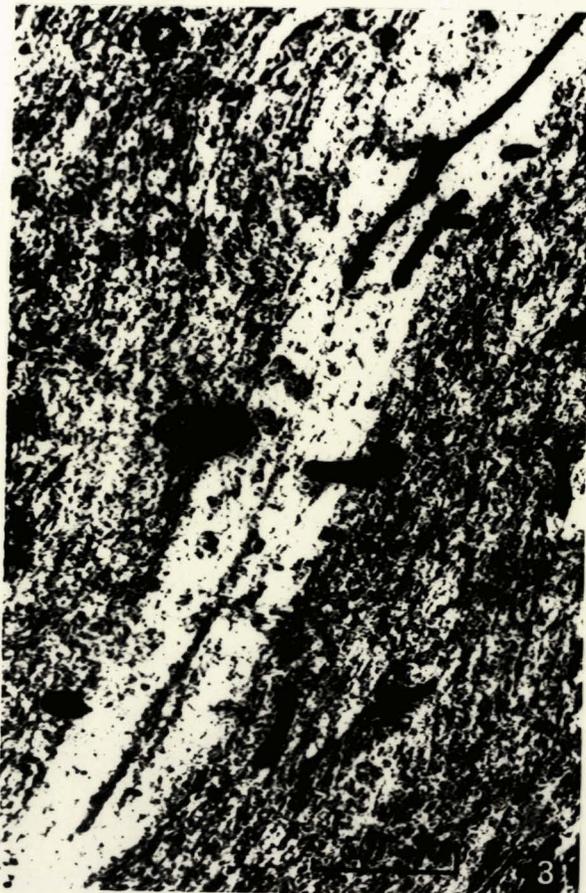


PLANCHE V

Photo 1. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ;
1,587 % PRO ; 15,8 % MV, L.P.

De petits fragments d'origine vitrinitique ou exinitique peuvent être distingués en raison de l'oxydation du ciment. La photo montre aussi une sporinite (s) et une sclérotinite non oxydée (sc).

Photo 2. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ;
1,587 % PRO ; 15,8 % MV, L.P.

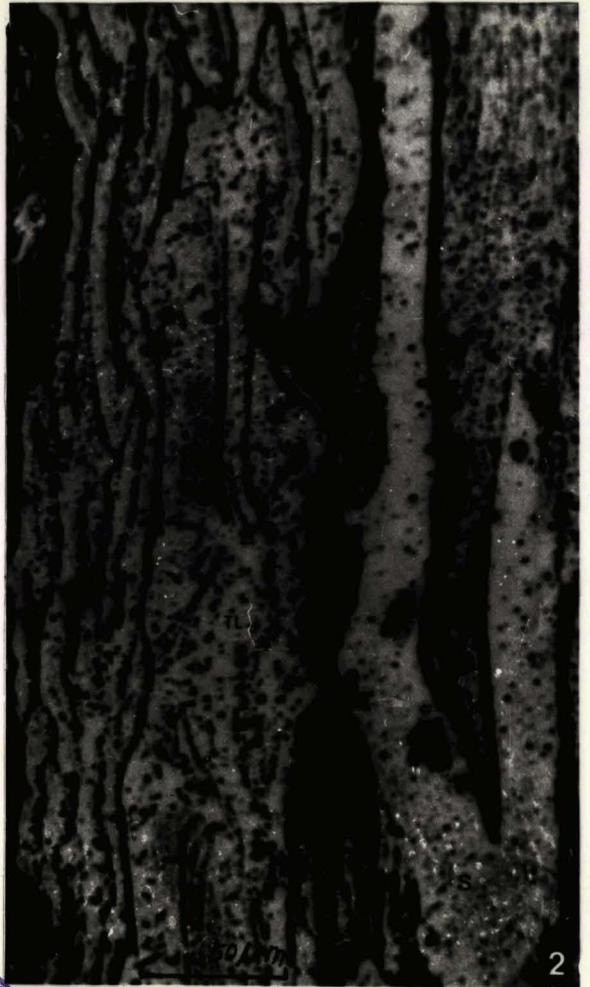
L'oxydation du ciment fait apparaître les contours de la sporinite (s) et des tissus ligneux (TL).

Photo 3. Sondage Loos 6 ; 640,90 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ;
1,662 % PRO ; 15,1 % MV, L.P.

L'inertodétrinite résistante à l'oxydation peut être distinguée par sa couleur plus claire que celle des autres petits fragments qui, apparemment, proviennent - eux - de desmocollinite (entre la macrosporinite (s)).

Photo 4. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ;
1,587 % PRO ; 15,8 % MV, L.P.

La photo montre la différence de pouvoir réflecteur entre l'inertodétrinite (en bas à droite) et les autres petits fragments de cellules (tf) ou de sporinite (s).



BU
MILE

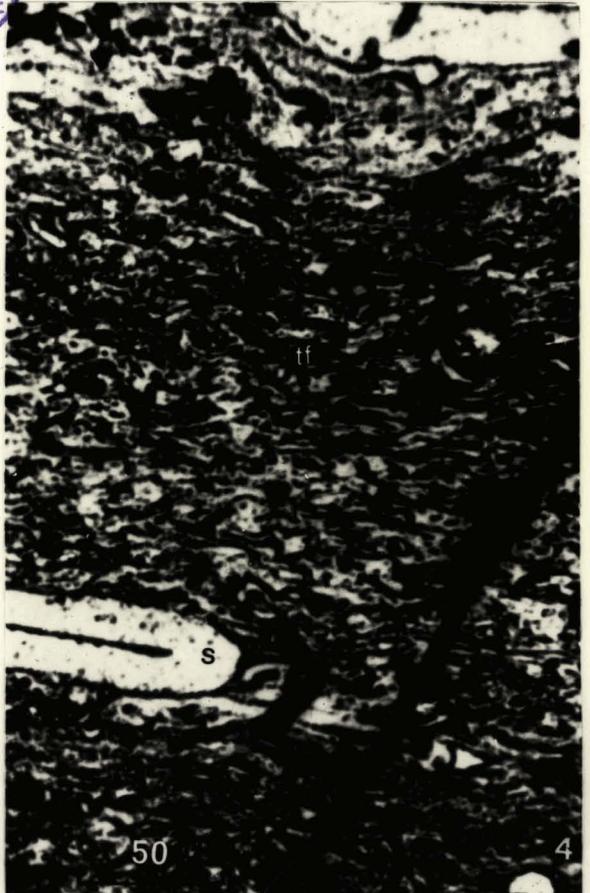


PLANCHE VI

Photo 1. Sondage Loos 6 ; 630,30 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,635 % PRo ; 14,7 % MV, L.P.

Une grosse cutinite (c) peut être facilement identifiée en raison de l'indentation qu'elle présente. La plage restant (t) en relief, sans forme particulière, est considérée comme provenant de tissus ligneux définitivement gélifiés. La gélification aurait effacé toute structure cellulaire. A l'issue de l'oxydation ne subsistent que quelques lignes noirâtres. Les gros trous semblent être dus au choc thermique.

Photo 2. Sondage Méricourt 30 ; 984,95 m ; Faisceau d'Ernestine, Westphalien C ; 1,102 % PRo ; 28,25 % MV, L.P.

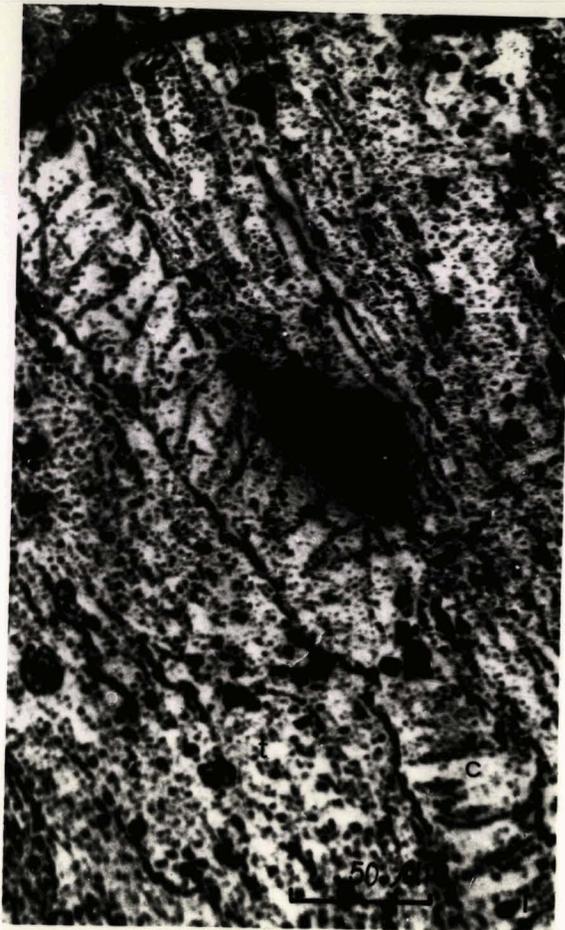
L'analyse macérale quantitative sans attaque a montré que cet échantillon contenait 2 % d'exinite uniquement constituée de sporinite. Après attaque, on peut maintenant observer des cutinites (c) et des corps ovales (cp). Ces derniers ressemblent à de la corpocollinite, mais il subsiste un certain doute, car la résinite présente souvent la même forme que la corpocollinite.

Photo 3. Sondage Loos 6 ; 630,30 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,635 % PRo ; 14,7 % MV, L.P.

Des cutinites (c) peuvent être identifiées par les indentations et les bords coupants qu'elles présentent.

Photo 4. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,587 % PRo ; 15,8 % MV, L.P.

La cutinite (c) montre une structure à indentation particulièrement caractéristique.



BU
LLE

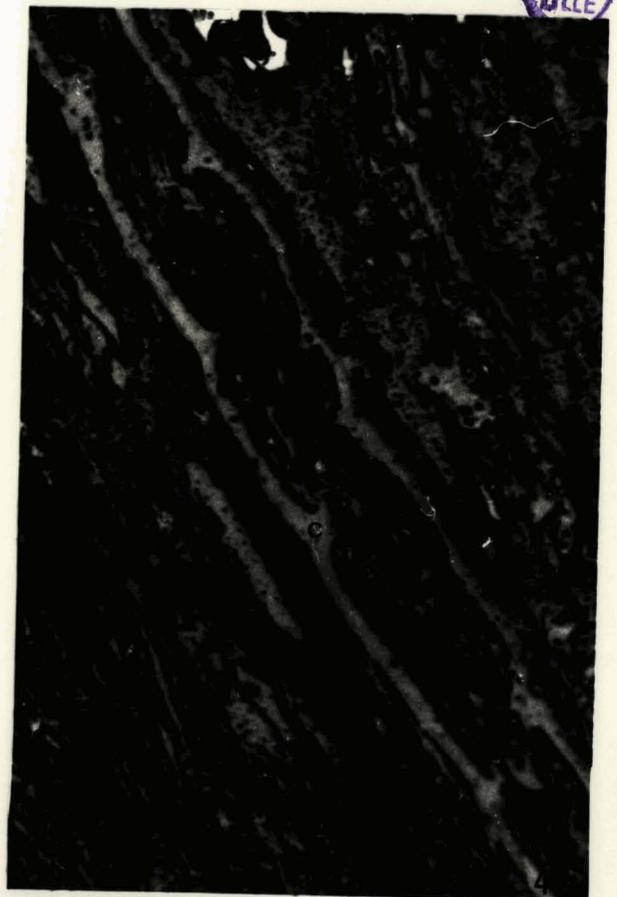


PLANCHE VII

Photo 1. Sondage Loos 6 ; 377,50 m ; Faisceau de Pouilleuse, Westphalien B ;
1,251 % P_{Ro} ; 20,2 % MV, L.P.

Fusinite non oxydée.

Photo 2. Sondage Loos 6 ; 377,50 m ; Faisceau de Pouilleuse, Westphalien B ;
1,251 % P_{Ro} ; 20,2 % MV, L.P.

Il s'agit du même lit de fusinite que sur la photo 1. La fusinite est souvent oxydable. En haut de la photo subsistent des traces de fusinite. En bas, la fusinite est complètement disparue.

Photo 3. Sondage Loos 6 ; 630,30 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ;
1,635 % P_{Ro} ; 14,7 % MV, L.P.

La semifusinite est très résistante à l'oxydation. Toutefois, l'oxydation du ciment accuse le contour de ce composant. Il n'est pas certain que les trous aient été produits par l'oxydation ou qu'il s'agisse de cavités originelles.

Photo 4. Sondage Loos 6 ; 377,50 m ; Faisceau de Pouilleuse, Westphalien B ;
1,25 % P_R ; 20,2 % MV, L.P.

La semifusinite (sf) et la sclérotinite (sc) montrent peu de changement après attaque. Toutefois leurs contours sont mieux définis en raison de l'oxydation du ciment. La cutinite (c) a été restituée après attaque.

Photo 5. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ;
1,587 % P_{Ro} ; 1,58 % MV, L.P.

La photo a été prise après attaque au centre d'un large lit de semifusinite. L'oxydation entraîne peu de changement de la semifusinite.

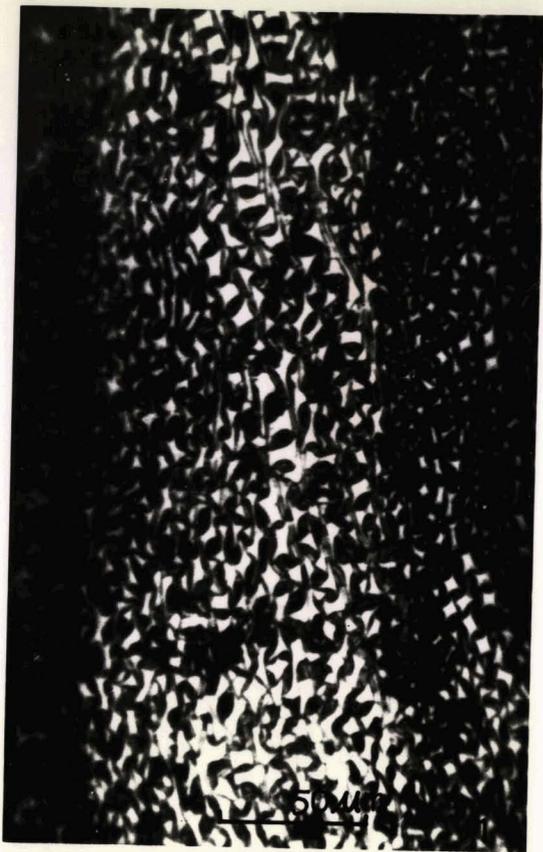


PLANCHE VIII

Photo 1. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,587 % P_{Ro} ; 15,8 % MV, L.P.

La sclérotinite est en général résistante à l'oxydation, comme celle de la photo 3 de la planche II, de la photo 1 de la planche V et celle de la photo 4 de la planche VII. Mais parfois elle peut être oxydée et montre alors, comme ici, de belles structures internes.

Photo 2. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,587 % P_{Ro} ; 15,8 % MV, L.P.

Fragment de paroi montrant une très fine structure lamellaire.

Photo 3. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,587 % P_{Ro} ; 15,8 % MV, L.P.

L'oxydation révèle non seulement les contours des tissus ligneux mais aussi leur structure interne.

Photo 4. Sondage Loos 6 ; 630,30 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,630 % P_{Ro} ; 14,7 % MV, L.P.

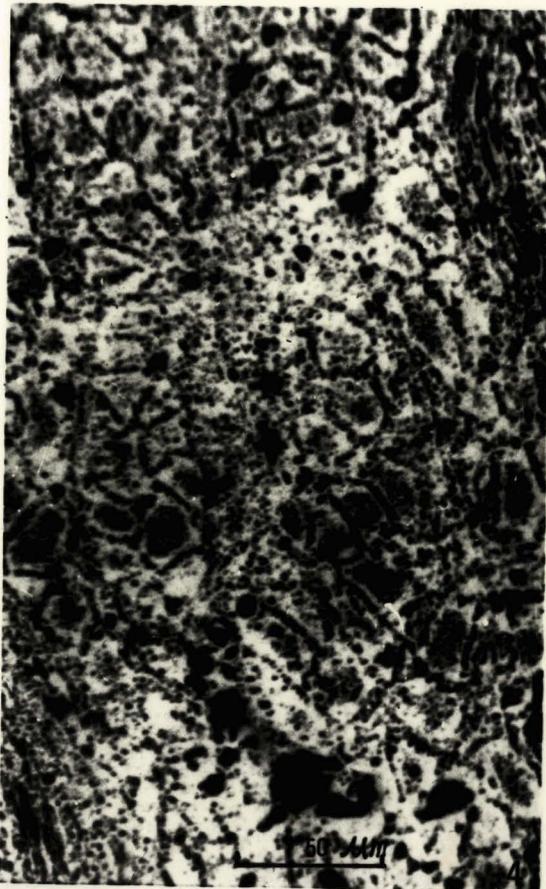
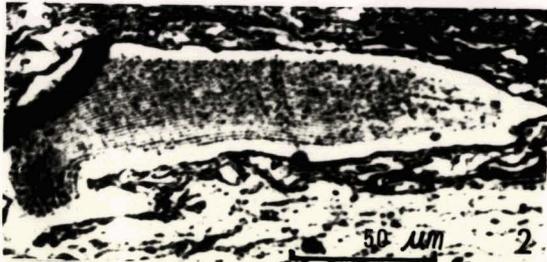
L'origine du constituant présenté ici demeure incertaine. En raison des contours angulaires et des différents degrés d'oxydation présentés par cette plage, il semble qu'il s'agisse d'une coupe transversale d'un tissu ligneux, comme par exemple celui de la photo 3.

Photo 5. Sondage Loos 6 ; 377,50 m ; Faisceau de Pouilleuse, Westphalien B ; 1,251 % P_{Ro} ; 20,2 % MV, L.P.

La périphérie des corps ovales reste en relief alors que la partie interne a été oxydée. On peut donc considérer que le gel a rempli la cavité cellulaire, c'est-à-dire que nous avons ici affaire à des corpocollinites. Cependant la résinite peut elle-aussi parfois remplir de telles cavités. Ce qui semble sûr c'est que la partie oxydée représente un matériel mobile.

Photo 6. Sondage Loos 6 ; 616,70 m ; Faisceau de Meunière, Westphalien B ; 1,587 % P_{Ro} ; 15,8 % MV, L.P.

Des tissus ligneux brisés fortement gélifiés sont apparus au sein de gélocollinite oxydée.



BU
HILLE

CHAPITRE II

Toutes les photographies réalisées en lumière réfléchie procèdent d'un examen à immersion dans l'huile de surfaces polies non attaquées de matières organiques dispersées du Boulonnais.

PLANCHE IX

Photo 1. Echantillon N° 44. Portlandien inférieur. Grès de la Crèche inférieur.

Photo 2. Echantillon N° 33. Kimméridgien. Grès de Châtillon.

Photo 3. Echantillon N° 44. Portlandien inférieur. Grès de la Crèche inférieur.

Photo 4. Echantillon N° 6-1. Portlandien moyen. Argiles gris-noir.

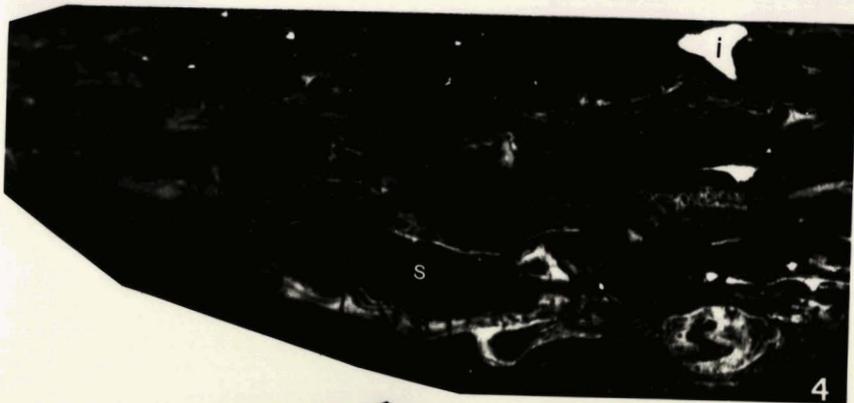
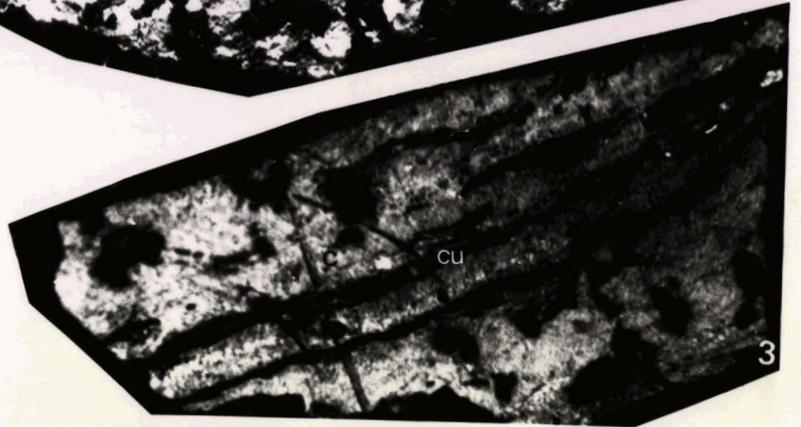
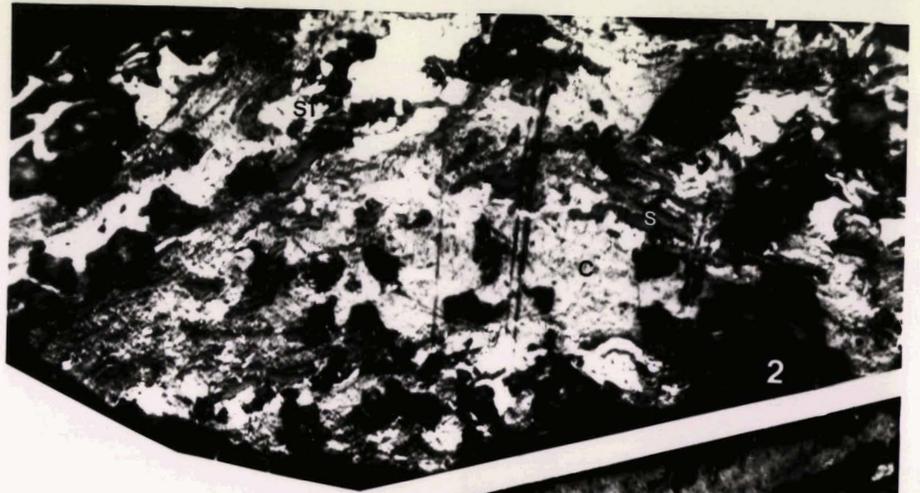
Les photos montrent une association de constituants amorphes et figurés. Les composants organiques ont exactement le même aspect que ceux des charbons. On peut observer en particulier le constituant amorphe (c) et parmi les constituants figurés, la semi-fusinite (sf), l'inertodétrinite (i), la cutinite (cu) et la sporinite (s). Le constituant amorphe ne montre aucune différence avec la vitrinite des charbons.

Photo 5. Echantillon N° 7-1. Portlandien moyen. Argiles feuilletées.

Un grain de constituant amorphe renferme des punctuations pyriteuses blanches, et beaucoup de trous. Nous l'avons considéré comme un bitume (cf. photo 6, Pl. IX, et photos 1 à 6 de la planche X).

Photo 6. Echantillon N° 6-1. Portlandien moyen. Argiles gris-noir.

Le grain de constituant amorphe présente des fissures et des trous.



50 μ m

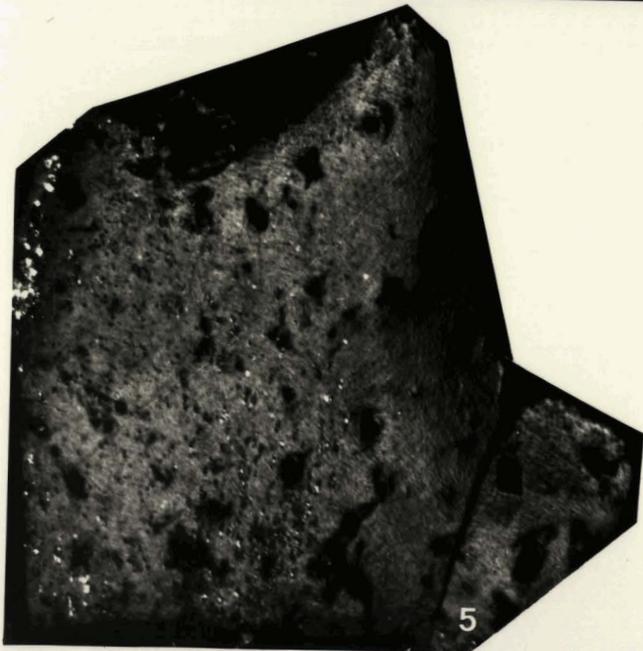


PLANCHE X

Photo 1. Echantillon N° 2-2. Kimméridgien. Sommet des marnes et calcaires du Moulin Wibert.

Le constituant amorphe, apparemment du bitume, contient rarement des constituants figurés.

Photo 2. Echantillon N° 7-1. Portlandien moyen. Argiles feuilletées.

Grain de constituant amorphe montrant des trous.

Photo 3. Echantillon N° 6-1. Portlandien moyen. Argiles gris-noir.

Le constituant amorphe ressemblant à du bitume renferme parfois des minéraux comme ici la pyrite framboïdale.

Photo 4. Echantillon N° 2-2. Kimméridgien. Partie centrale des marnes et calcaires du Moulin Wibert.

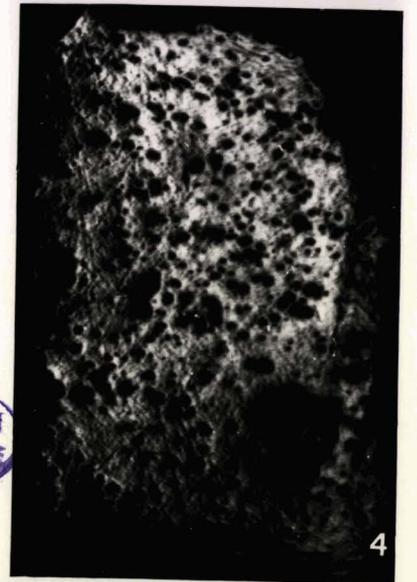
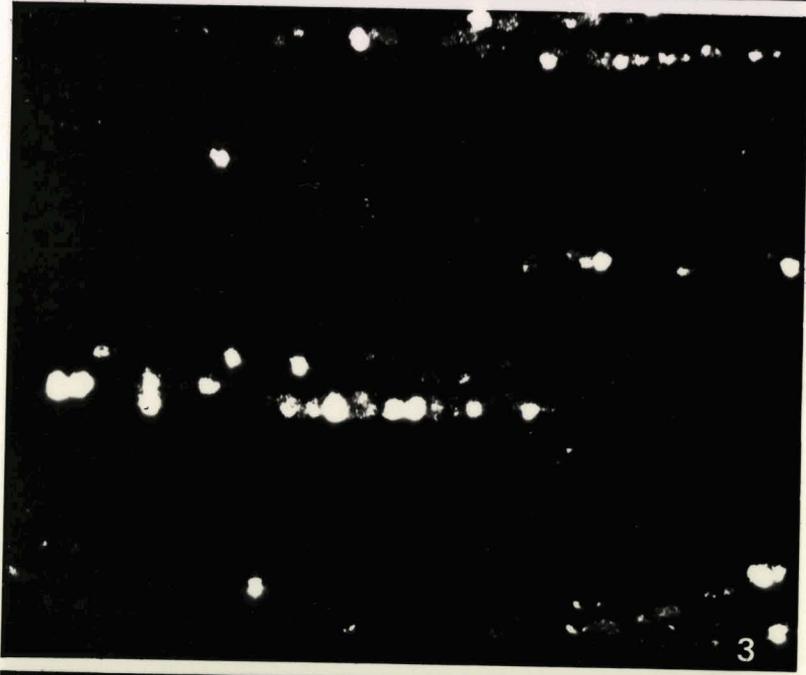
Le constituant amorphe montre un pouvoir réflecteur relativement élevé, mais la présence de nombreuses rayures de polissages comme sur les photos précédentes 1 et 3 traduit sa faible dureté. Il renferme lui-aussi beaucoup de trous.

Photo 5. Echantillon N° 33. Kimméridgien. Grès de Châtillon.

Grain de constituant amorphe à petits points blancs, trous et rayures de polissage. Il s'agit de bitume.

Photo 6. Echantillon N° 44. Portlandien inférieur. Grès de la Crèche inférieur.

Ce grain de constituant amorphe est relativement homogène mais il contient comme ceux des autres photographies beaucoup de rayures de polissage.



BU
MILE



PLANCHE XI

Photo 1. Echantillon 7-2. Portlandien moyen. Argiles feuilletées.

Grain constitué entièrement de fusinite. Certaines cavités sont remplies de carbonate.

Photo 2. Echantillon N° 44. Portlandien inférieur. Grès de la Crèche inférieur.

Fusinite dont quelques lumens de cellules sont remplis de pyrite framboïdale.

Photo 3. Echantillon N° 7-1. Portlandien moyen. Argiles feuilletées.

La semifusinite présente une structure circulaire qui rappelle celle de radicelle.

Photo 4. Echantillon N° 6-1. Portlandien moyen. Argiles gris-noir.

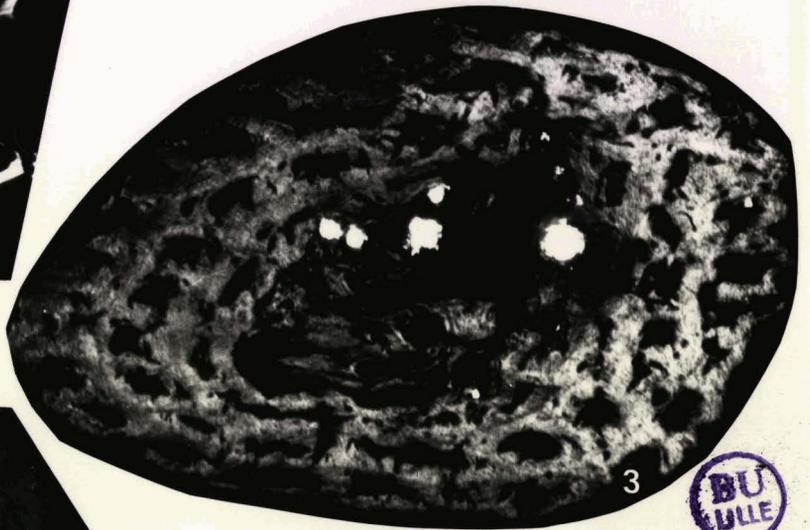
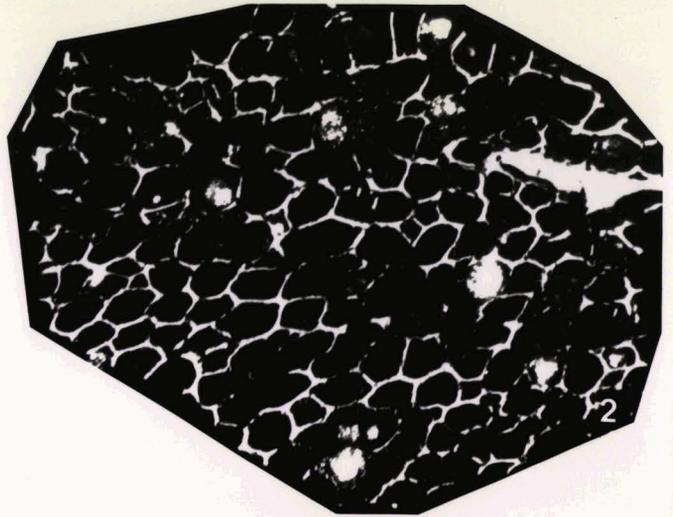
Constituant figuré textinitique dont les cavités sont remplies par un constituant amorphe gélimitique.

Photo 5. Echantillon N° 7-1. Portlandien moyen. Argiles feuilletées.

Un constituant figuré présente la forme de la fusinite mais un pouvoir réflecteur très bas.

Photo 6. Echantillon N° 2-2. Kimméridgien. Marnes et calcaires du Moulin Wibert.

Macéral de passage entre la textinite et l'ulminite.



BU
LLE



50 μ m

PLANCHE XII

Photo 1. Echantillon N° 7-1. Portlandien moyen. Argiles feuilletées.

Grain de macrinite à fissures caractéristiques. L'altération et l'aspect arrondi de la marge peuvent traduire un certain remaniement.

Photo 2. Echantillon N° 44. Portlandien inférieur. Grès de la Crèche inférieur.

Les grains s'apparentent à de la sclérotinite. Leur contour arrondi et l'altération de la marge expriment leur remaniement.

Photo 3. Echantillon N° 7-2. Portlandien moyen. Argiles feuilletées.

La structure de la cutinite est bien conservée.

Photo 4. Echantillon N° 7-1. Portlandien moyen. Argiles feuilletées.

La membrane cellulaire est conservée comme sur la photo 3, et la cavité est ici remplie par des minéraux.

Photo 5. Echantillon N° 7-2. Portlandien moyen. Argiles feuilletées.

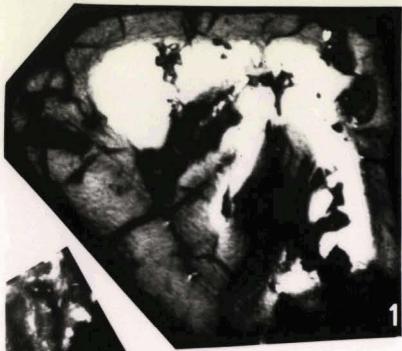
Cutinite renfermant des pyrites.

Photo 6. Echantillon N° 7-1. Portlandien moyen. Argiles feuilletées.

Fragment de macrospore. La sporinite est sans doute remaniée. En effet, son pouvoir réflecteur est aussi élevé que celui du constituant amorphe. De plus elle n'est plus fluorescente.

Photo 7. Echantillon N° 6-1. Portlandien moyen. Argiles gris-noir.

Le grain est presque entièrement constitué de sporinite. Les spores sont fluorescentes et leur pouvoir réflecteur est beaucoup moins élevé que celui de la spore représentée sur la photo 6.



50 μ



BU
LLE



LISTE DES FIGURES

	Pages
Fig. 1. - Schéma de four à plasma d'oxygène.....	15
Fig. 2. - Variation de P _{Ro} et MV avec la profondeur actuelle.....	26
Fig. 3. - Variation de P _{Ro} et MV avec la profondeur stratigraphique approximative.....	28
Fig. 4. - Sondage de Méricourt 30. Variation du pouvoir réflecteur et biré- flectance avec la profondeur actuelle.....	29
Fig. 5. - Allures possibles des courbes de PR après la tectonique.....	30
Fig. 6. - Relations entre la biréfectance, P _{Ro} et PRM.....	36
Fig. 7. - Indice de matières volatiles et pourcentages en Vitrinite, Exinite et Inertinite (d'après Delattre Ch. et al, 1973).....	39
Fig. 8. - Influence de la composition macérale sur la relation PR/MV (d'après Alpern, 1969).....	41
Fig. 9. - Composition macérale et teneurs en matières volatiles.....	41
Fig. 10. - Composition macérale et pouvoir réflecteur.....	43
Fig. 11. - Coupe de la falaise au Cap de la Crèche.....	51
Fig. 12. - Variation de pouvoir réflecteur avec la position stratigraphique....	60

LISTE DES TABLEAUX

Tabl. 1. - Les systèmes de classification des charbons (d'après Alpern, 1976)..	8
Tabl. 2. - Les macéraux des houilles (<u>in</u> I.C.C.P., 1971).....	10
Tabl. 3. - Résultats des analyses macérales de Méricourt 30 et Loos 6.....	19
Tabl. 4. - Les durées d'attaque.....	21
Tabl. 5. - Les valeurs de P _{Ro} , PRM, biréfectance et MV des charbons étudiés...	32
Tabl. 6. - Les valeurs de PRM, PR _m , P _{Ro} et biréfectance (d'après Van Krevelen, 1961).....	34
Tabl. 7. - Coefficients de corrélation entre le pouvoir réflecteur et les matières volatiles, les pourcentages des macéraux et leurs crédibi- lités.....	46
Tabl. 8. - Pouvoir réflecteur des M.O.D. dans le Boulonnais.....	59

LISTE DES ANNEXES

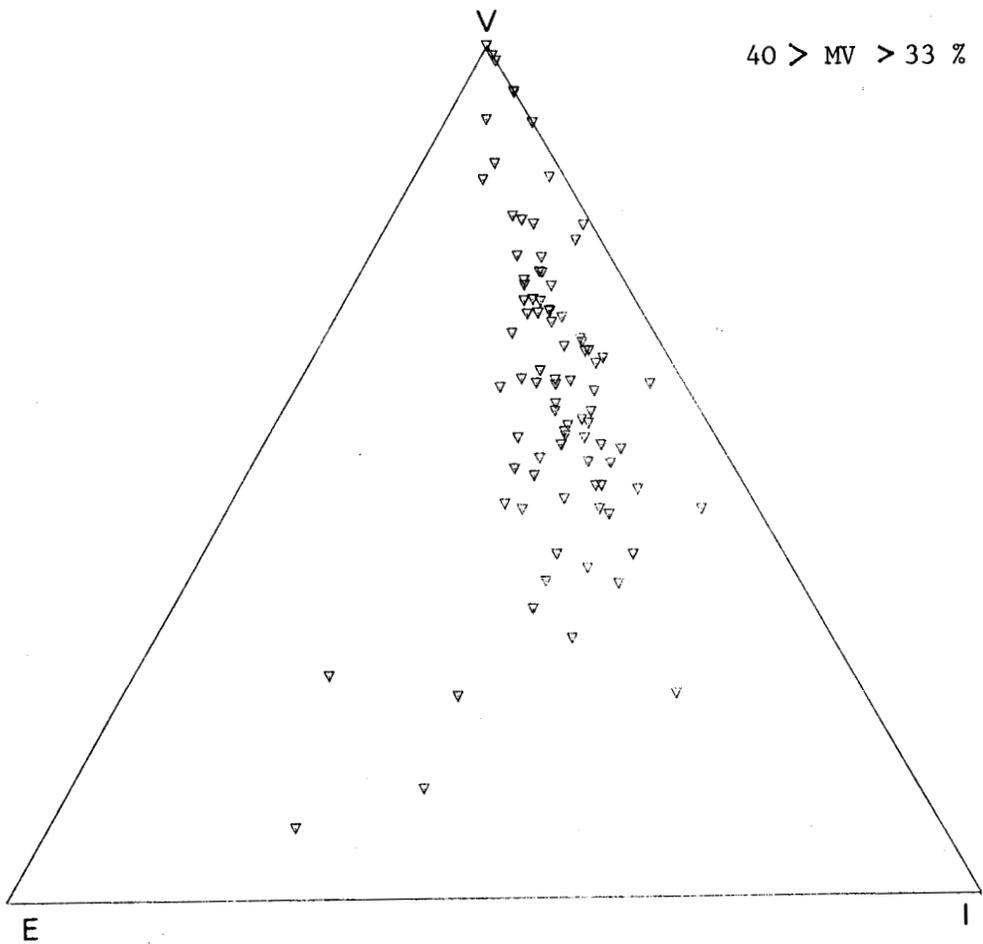
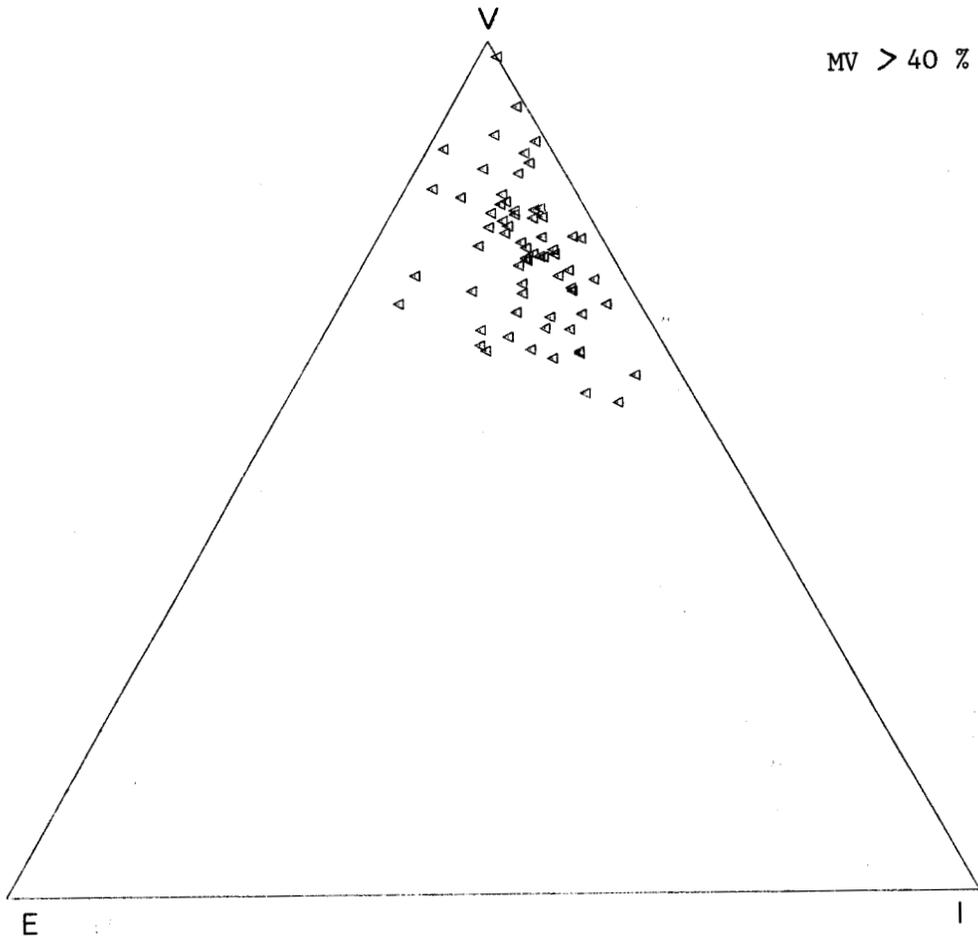
ANNEXE I. Composition en groupes de macéraux en fonction de M.V.....	94
ANNEXE II. Composition en groupes de macéraux en fonction de P.R.....	98
ANNEXE III. Réflectogramme de la matière organique dispersée dans une partie du Jurassique du Boulonnais.....	102

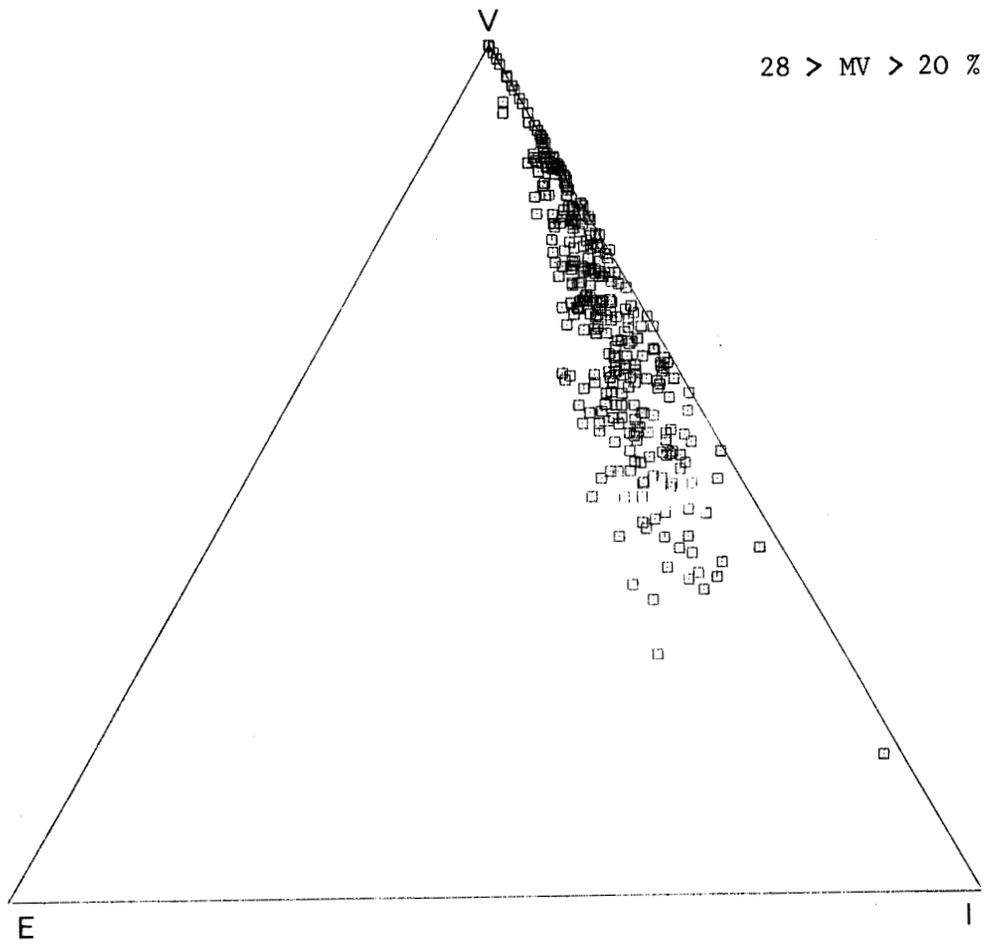
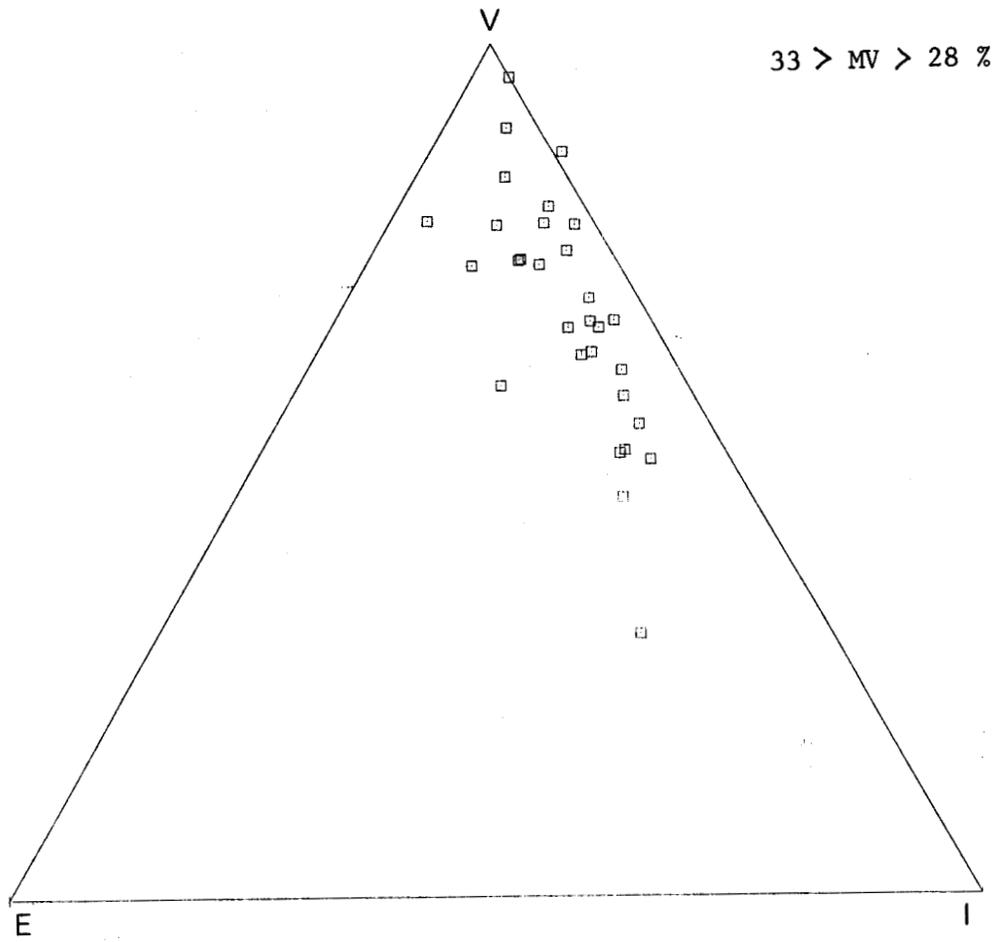
ANNEXES

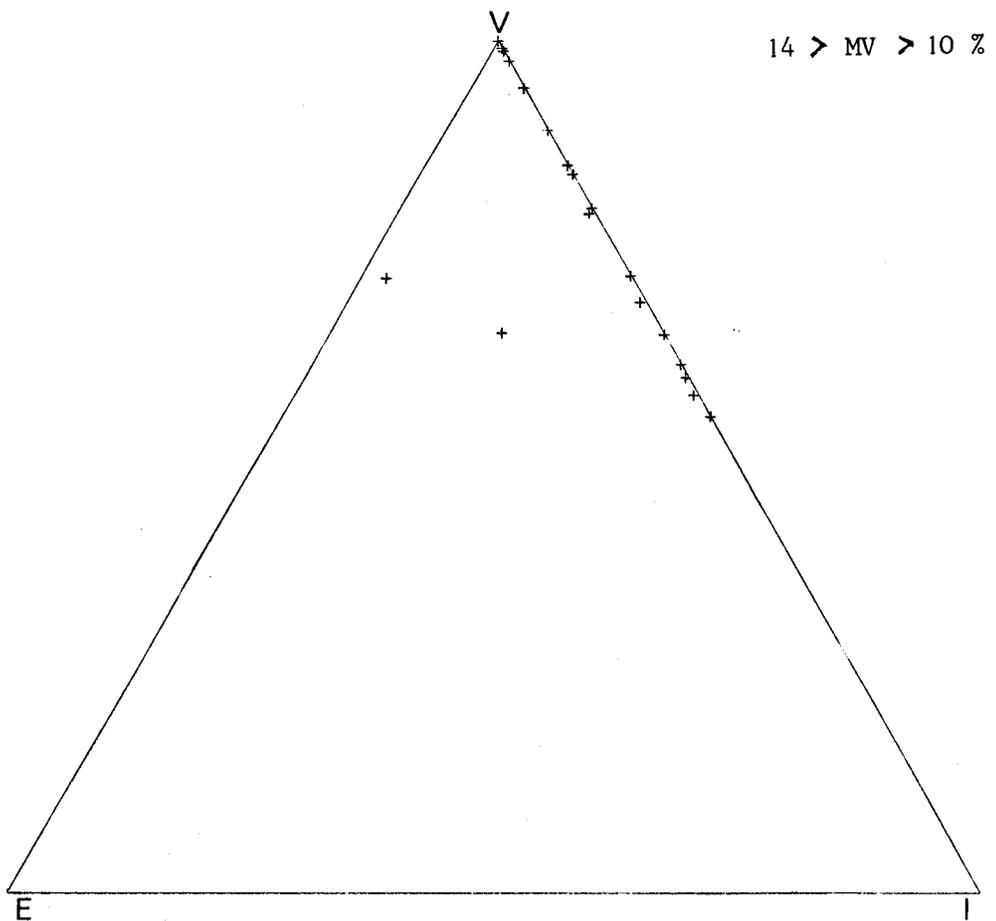
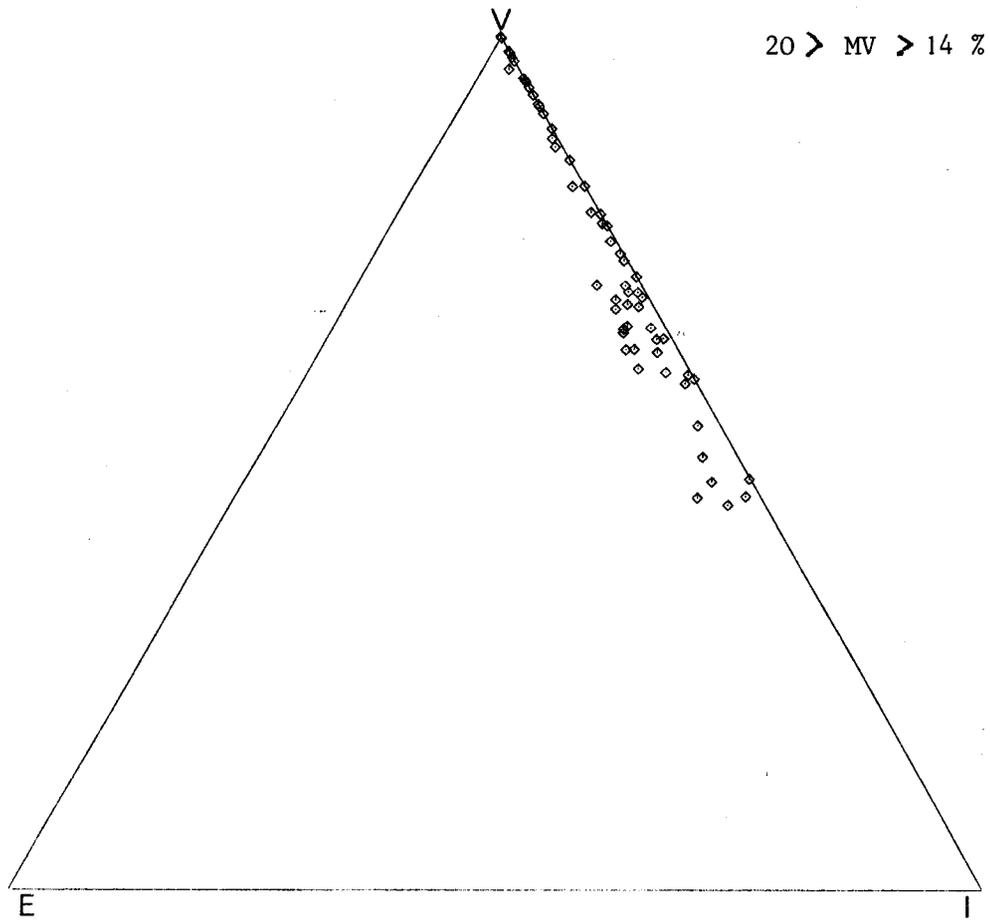
A N N E X E I

COMPOSITION EN GROUPES DE MACERIAUX EN FONCTION DE M.V

- Supérieur à 40 %.....	95
- 40 > MV > 33 %.....	95
- 33 > MV > 28 %.....	96
- 28 > MV > 20 %.....	96
- 20 > MV > 14 %.....	97
- 14 > MV > 10 %.....	97



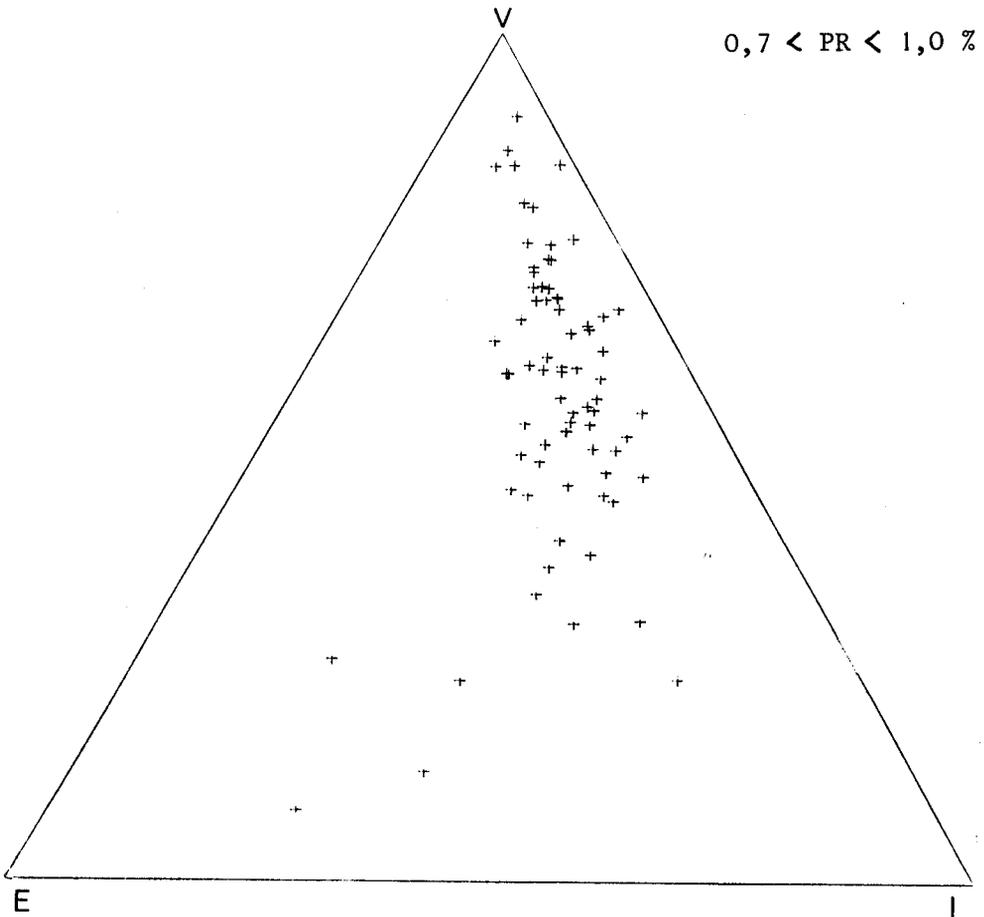
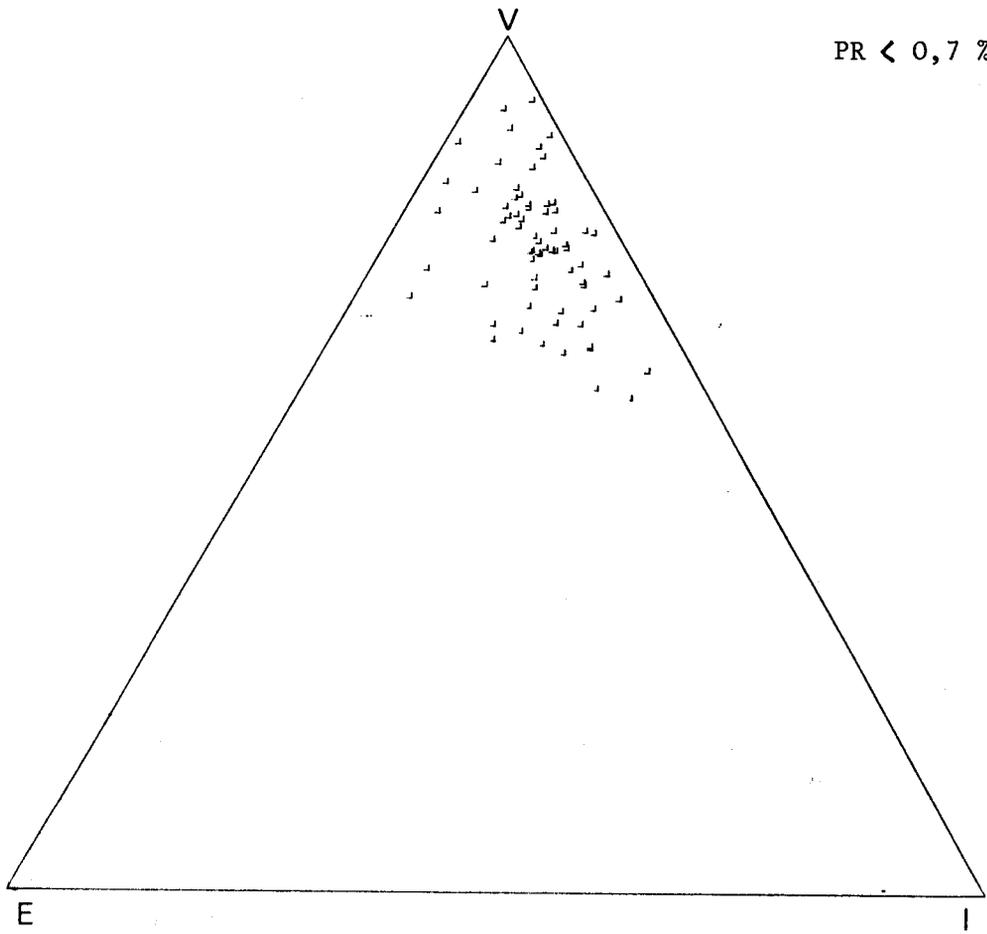


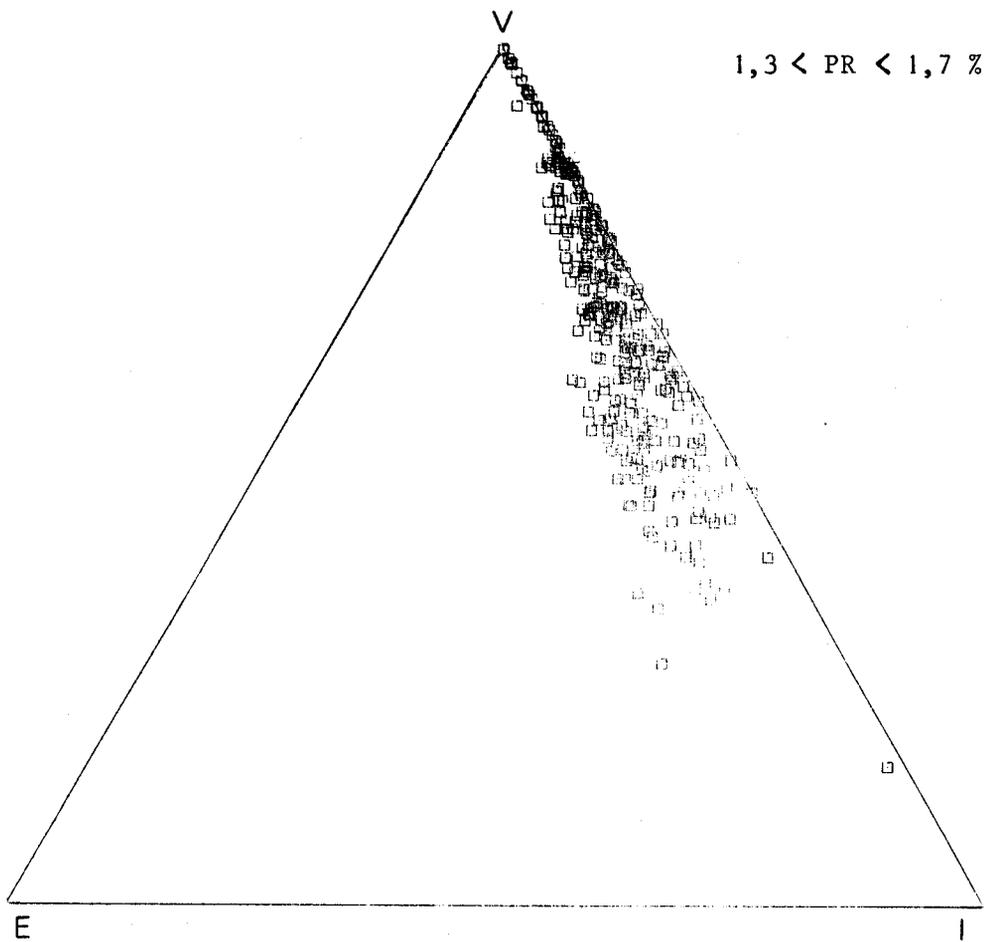
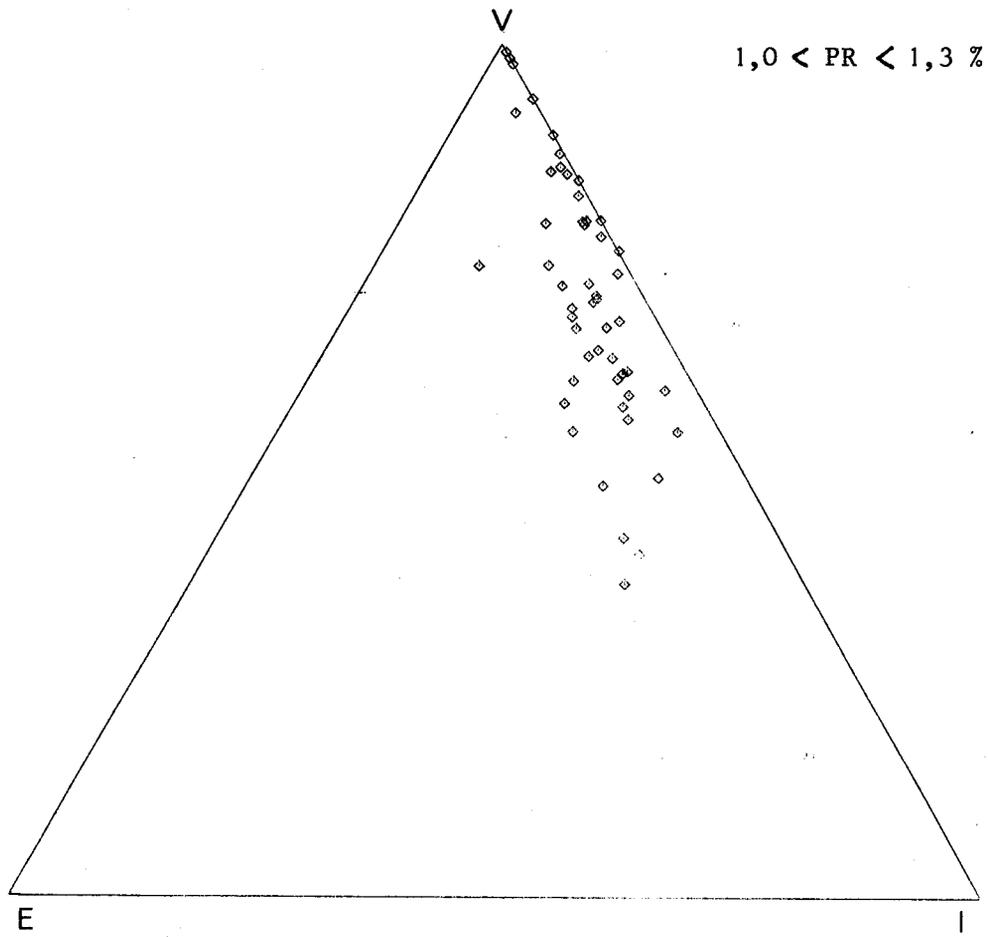


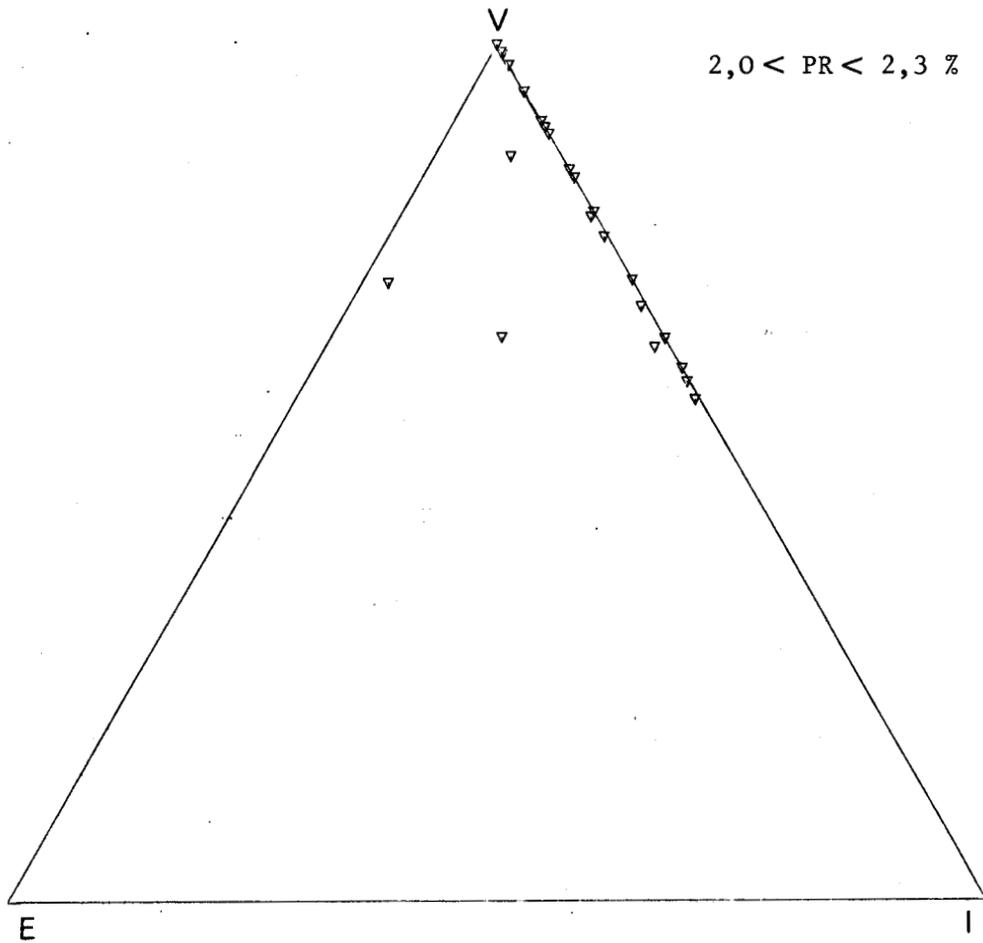
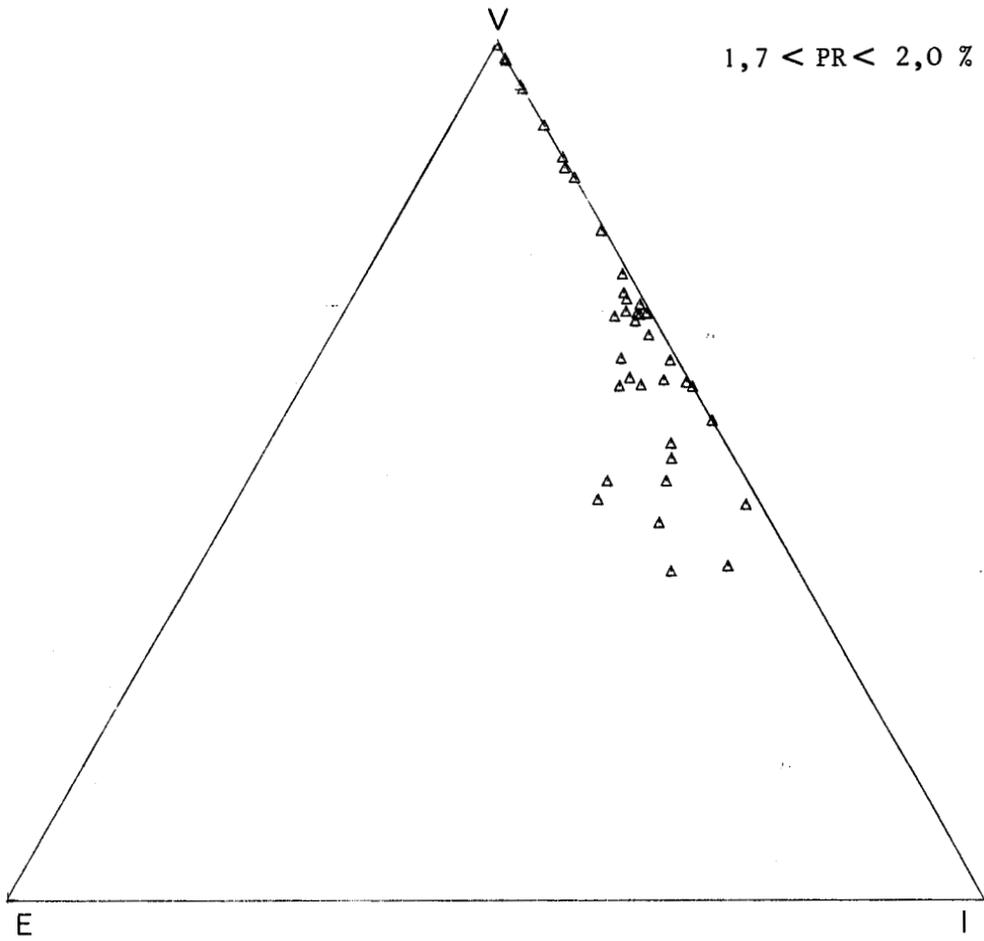
A N N E X E II

COMPOSITION EN GROUPES DE MACERAUX EN FONCTION DE P.R

- Inférieur à 0,7 %.....	99
- 0,7 < PR < 1,0 %.....	99
- 1,0 < PR < 1,3 %.....	100
- 1,3 < PR < 1,7 %.....	100
- 1,7 < PR < 2,0 %.....	101
- 2,0 < PR < 2,3 %.....	101

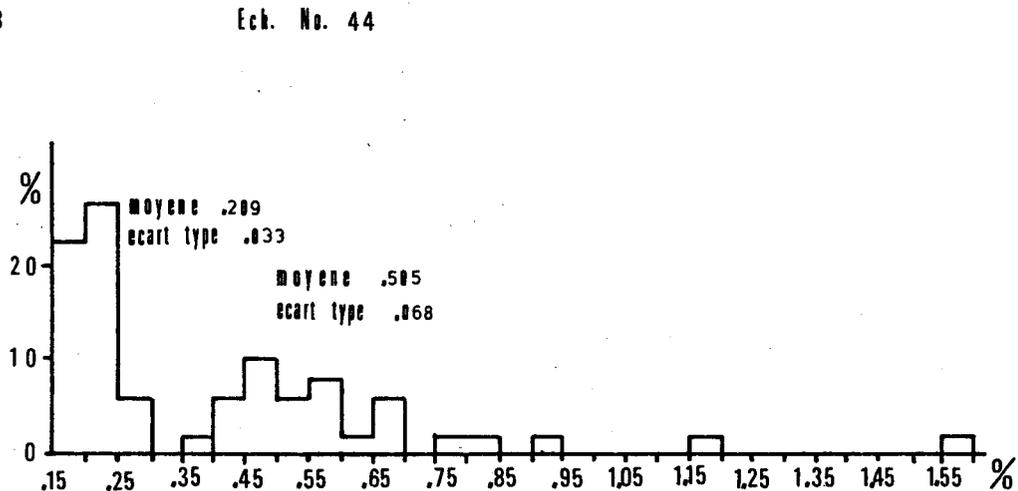
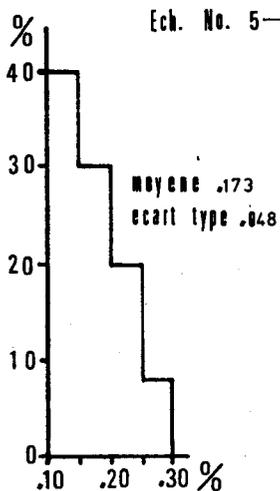
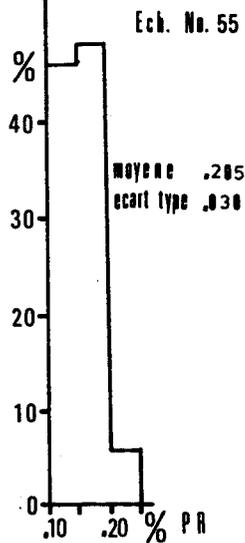
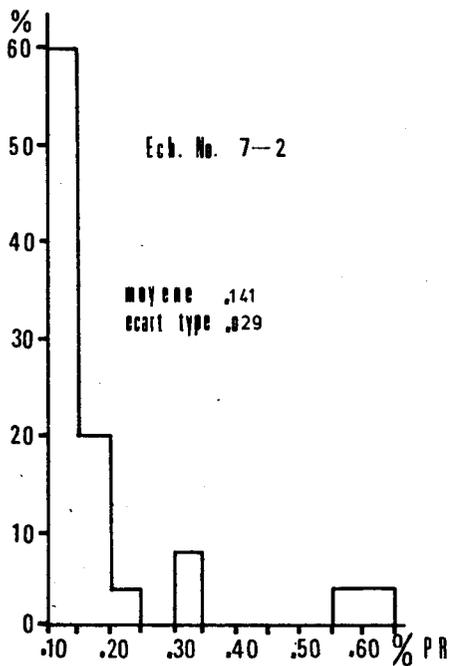
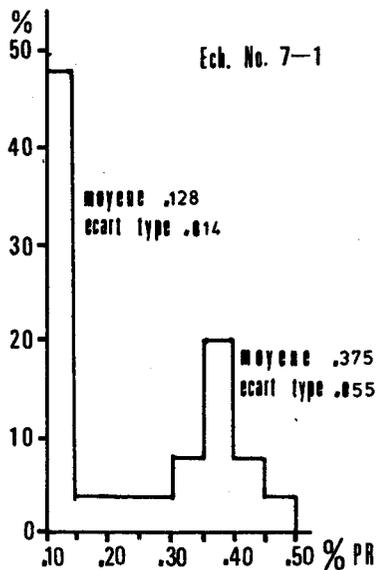
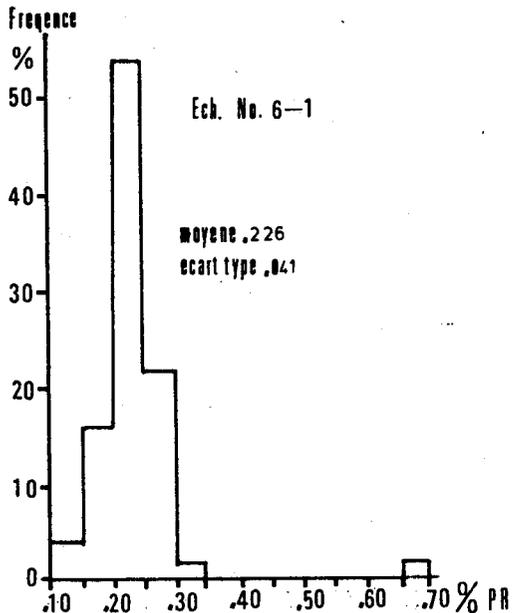


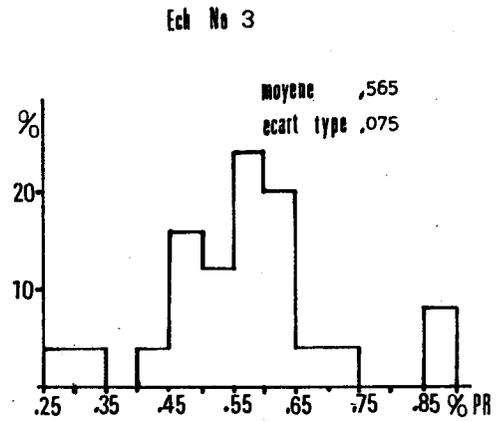
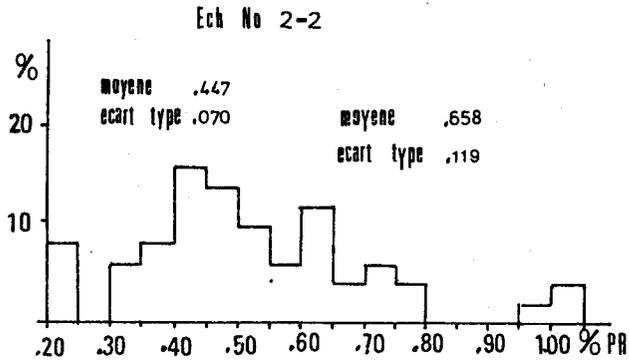
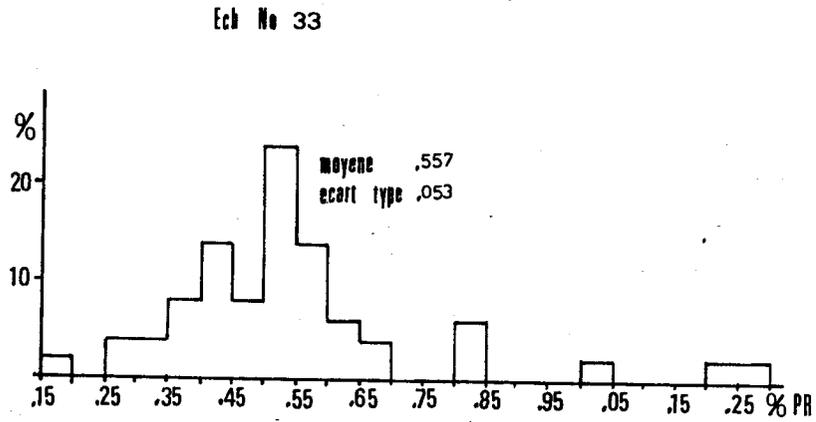
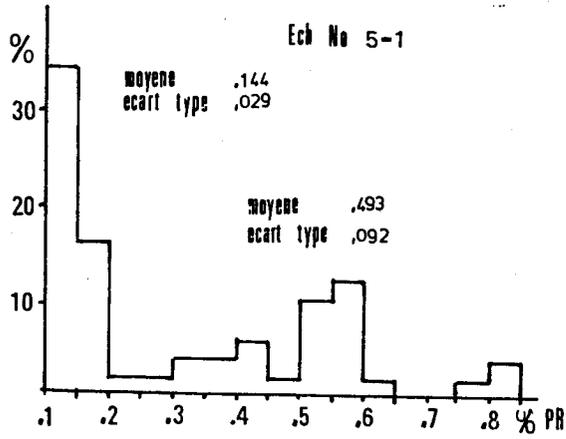




A N N E X E III

REFLECTOGRAMMES DE LA MATIERE ORGANIQUE DISPERSEE DANS UNE PARTIE
DU JURASSIQUE DU BOULONNAIS





CONTRIBUTION A L'ÉTUDE
PÉTROLOGIQUE DE MATIÈRES ORGANIQUES
DU NORD DE LA FRANCE

par CHEONG Tae - Jin = 1985 =

RESUME

Les matières organiques proviennent du Nord de la France. Elles appartiennent à deux catégories très différentes par leur gisement, leur âge et leur faciès.

Des charbons d'âge namurien à westphalien C prélevés en sondages constituent la première catégorie.

Les méthodes de préparation de surfaces polies des charbons, de reconnaissance des constituants élémentaires ou macéraux, les paramètres de rang généralement retenus, la technique d'oxydation des surfaces polies dans un four à plasma et la mesure du pouvoir réflecteur ont d'abord été très succinctement rappelés.

Le four à plasma d'oxygène s'est révélé être une méthode particulièrement efficace pour l'attaque des surfaces polies des charbons. Le procédé est simple, utilisable pour une très large gamme de combustibles et permet la restitution des contours nets des structures botaniques originelles. Les corps figurés en relief après attaque appartiennent aux tissus ligneux, spores, cuticules et à de menus fragments de ces tissus. Les parties érodées s'apparentent aux macéraux mobiles comme la gélocollinite, la corpocollinite, la partie du ciment de la desmocollinite et aussi vraisemblablement la résinite.

Le pouvoir réflecteur moyen statistique (PRO) augmente avec l'âge et la profondeur dans 4 sondages sur les 5 étudiés. La biréfectance a tendance à augmenter avec le PRO ou avec le pouvoir réflecteur maximum. La houillification de l'ensemble du bassin a donc été antetectonique. Par contre, dans le sondage Méricourt 30, où une faille importante est signalée, l'allure générale de ces phénomènes est perturbée. En particulier, la variation de la biréfectance chez ces combustibles peu évolués est due à des pressions tectoniques localisées.

Enfin, l'étude statistique d'une très large gamme de combustibles solides a permis de montrer que la composition macérale influence les valeurs du pouvoir réflecteur et les teneurs en matières volatiles.

Les matières organiques dispersées (M.O.D.) incluses dans les sédiments d'âge kimméridgien supérieur à portlandien inférieur de la falaise entre Boulogne et le cap de la Crèche constituent la deuxième catégorie.

Deux groupes de composants ont été mis en évidence dans les produits concentrés extraits des sédiments. Les corps figurés sont constitués de fusinite, semifusinite, sclérotinite, cutinite, sporinite et textinite. Les composants amorphes montrent des réflectogrammes à deux populations rattachées à la vitrinite et à des bitumes. L'augmentation de la réflectance avec l'âge a permis de montrer que l'évolution de la M.O.D. était acquise avant la tectonique.

MOTS CLES : Nord de la France - Bassin houiller - Boulonnais - Namurien-Westphalien - Kimméridgien-Portlandien - Charbons - M.O.D - Attaque oxydante - Analyses macérales - Rang et Tectonique.