

50376
1989
333-1

50376
1989
333-1

THESE

N° d'ordre H56

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE - FLANDRES - ARTOIS

pour obtenir le titre de docteur de l'Université de Lille I
spécialité Géologie appliquée
par

Hubert BUISSART

**Le Wealdien du Bassin de Paris : approches
sédimentologique et paléogéographique;
applications au stockage souterrain de gaz naturel.**

Volume 1



soutenue le 8 Décembre 1989 devant la commission d'examen :

B. CLEMENT.....	Président
P. ALLEN.....	
J. FERRIERE.....	Rapporteurs
R. COQUEL.....	
J.F. DECONINCK.....	
M. LEBLANC.....	Examineurs
CI. PINEL.....	

réalisée avec le concours de GAZ DE FRANCE

SCD LILLE 1



D 030 320779 6

50376
1989
333.1

50376
1989
333-1

V

O

L

U

M



E

1



RESUME

Les formations à faciès "wealdien", (Valanginien à Barrémien inférieur) sont étudiées par analyses sédimentologiques, diffractométriques, électromicroscopiques et paléontologiques à partir de carottes de forages effectués dans quatre secteurs du Bassin de Paris : Germigny-sous-Coulombs, Vregny, La Chapelle-en-Vexin, Gournay-sur-Aronde. La microfaune (Ostracodes, Foraminifères) et la microflore (spores, pollens, Dinokystes) ont permis de dater les formations et d'établir des corrélations chronostratigraphiques; des corrélations lithostratigraphiques ont également été établies par définition d'électrofaciès. L'utilisation de ces résultats en terme de paléoenvironnement (Ostracodes, rapports Dinokystes/spores et pollens dissacates/spores) ainsi que les variations des cortèges argileux (illite/kaolinite) ou des minéraux lourds (zircon, tourmaline, rutile, staurotide, disthène), l'origine de la matière organique et les études électroséquentielles ont permis de mettre en évidence : (1) une évolution spatio-temporelle du milieu de dépôt; (2) l'origine mixte des sédiments en provenance du Massif Londres-Brabant et du Massif Armoricaïn. Au Valanginien, le Bassin de Paris est une cuvette émergée siège de dépôts continentaux. La remise en eau s'effectue à deux reprises par la mer alpine selon une polarité SE-NW à partir du détroit de Bourgogne. Les transgressions d'origine tectono-eustatique sont guidées par une paléogéographie induite par les taux de subsidence, les taux de sédimentation et les rejeux d'accidents profonds. Ces derniers (failles de Rouen, de la Seine, du Sennely au NW, du Pays de Bray et de la Somme au NE) délimitent une zone haute, continentale, à plongement Sud constituant le flanc d'un golfe ouvert vers le SE. Alors qu'à l'Hauterivien, lors de la première transgression, le caractère marin de la sédimentation est mieux marqué au SE qu'au NW; au Barrémien inférieur, lors de la deuxième transgression, la sédimentation devient plus uniforme. Dans le cadre de l'Europe du NW à cette époque, le Bassin de Paris apparaît comme un bassin autonome.

ABSTRACT

Sedimentological, X-ray diffraction, transmission electron microscopy, geochemical and paleontological analysis are performed on cores of the Wealden Formation (Valanginian to Lower Barremian) in the Basin of Paris. Datations and correlations have been established by using the data of the microfauna (Ostracods, Foraminiferas) and of the microflora (Spores, Pollens, Dinocysts). These results, interpreted in term of paleoenvironment, joined to the variations of the clay assemblages (ratio illite/kaolinite), to the variations of the heavy minerals (tourmalin, zircon, staurolite, rutile, kyanite), to the origin of the organic matter and to the electrosequential studies have shown an evolution in the time and in the space of the depositionnal environment of sediments issued of the Massif Armoricaïn and of the Massif Londres-Brabant. During Valanginian the Basin of Paris is an emerged lake basin-like, siege of continental deposits. Twice, from the detroit of Bourgogne, Southeast-Northwestward, the Alpine Sea invades the basin. The transgressions, having a tectono-eustatic origin are guided by a paleogeography that is induced by the rates of subsidence, the rates of sedimentation and the recurrent deep faultings. These last one (faults of Rouen, La Seine, Le Sennely, in the NW; faults of Le Pays de Bray, La Somme, in the NE) define a high and continental area plunging Southward, that constitutes the side of a gulf opened Southeastward. Whereas, during the Hauterivian, the marine mark of the sedimentation is stronger in the SE than in the NW, during the Lower Barremian the sedimentation becomes more homogeneous. In the framework of the NW Europe at this time, the Basin of Paris appears as an autonomous basin.

VOLUME 1

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I : LE WEALDIEN-PRESENTATION.

I- LE WEALDIEN EN ANGLETERRE

PAGES

A- Origine - Datations	1
B- Localisation - Composantes	4
1- Analyse lithologique - présentation du faciès.	4
2- Milieu de dépôt - scénario.	5
a- Généralités	5
b- Scénarios des dépôts wealdiens.	8

II- LE WEALDIEN EN EUROPE DU NORD - OUEST.

8

A- Allemagne du Nord et Est des Pays-Bas.	9
B- Ouest des Pays-Bas.	11
C- Belgique.	11

III- LE WEALDIEN EN FRANCE : BASSIN DE PARIS.

12

A- Le faciès wealdien dans le Bassin de Paris.	12
1- Généralités.	12
2- Extension du faciès wealdien.	12
3- Le faciès wealdien à l'affleurement.	12
a- Dans le Pays de Bray.	12
b- Dans le Boulonnais.	13

	PAGES
<i>c- Bordure occidentale de l'Ardenne.</i>	15
4- Le faciès wealdien dans la région centrale du Bassin de Paris.	16
<i>a- Généralités - introduction.</i>	16
<i>b- Stratotype du Crétacé inférieur reconnu par forage.</i>	17
<i>α- Les six du Néocomien à Châteaurenard.</i>	18
<i>β- Evolution latérale SE - NW.</i>	18
<i>c- Synthèse.</i>	19
5- Conclusions.	20
B- Vue d'ensemble sur la tectonique.	20
<i>1- Zone A, ou Zone Nord ou Zone picarde.</i>	21
<i>2- Zone B ou centrale ou axiale.</i>	21
<i>3- Zone C ou Zone Sud-Ouest ou Zone normande.</i>	21

CHAPITRE II : POSITION DU PROBLEME.

I- RAISON DES FORAGES DE GAZ DE FRANCE.	23
II- LES ZONES D'ETUDES.	24
A- Présentation générale.	24
<i>1- Le site de Crouy-sur-Ourcq / Germigny-sous-Coulombs.</i>	24
<i>2- Le site de Gournay-sur-Aronde.</i>	25
<i>3- Le site de la Chapelle-en-Vexin / Saint-Clair-sur-Epte.</i>	25
<i>4- Le site de Vregny / Nanteuil-la-Fosse.</i>	28
B- Présentation succincte du faciès wealdien en chaque site étudié.	28
<i>1- Crouy-sur-Ourcq.</i>	28
<i>2- Gournay-sur-Aronde; forage SR112.</i>	29

	PAGES
3- <i>La Chapelle-en-Vexin; forage Vn12.</i>	30
4- <i>Vregny; forage NF2.</i>	31
C- Conclusion.	32

CHAPITRE III : METHODOLOGIE - MATERIEL.

I- METHODOLOGIE.	33
A- Etude de la matière organique.	33
1- <i>Introduction.</i>	33
2- <i>Appareillage - technique.</i>	33
3- <i>Résultats.</i>	35
4- <i>Exploitation des résultats.</i>	37
B- Utilisation des diagraphies électriques.	38
1- <i>Introduction.</i>	38
2- <i>Détermination de l'argilosité.</i>	38
3- <i>Informations sur l'environnement.</i>	39
a- <i>Introduction.</i>	39
b- <i>Définitions : faciès - séquences.</i>	39
c- <i>Concepts d'électrofaciès et d'électroséquences.</i>	40
d- <i>La pendagemétrie.</i>	43
II- ORIGINE DU MATERIEL ETUDIE.	46
A- Origine du matériel.	46
B- Nature du matériel.	46

CHAPITRE IV : ETUDE DU SECTEUR DE GERMIGNY-SOUS-COULOMBS / CROUY-SUR-OURCQ.

	<i>PAGES</i>
I- INTRODUCTION.	49
II- LES SERIES RENCONTREES DANS LES FORAGES; LE FORAGE CR16.	50
A- Les formations à l'affleurement.	50
B- Stratigraphie détaillée: le forage CR16.	50
C- Analyse lithologique détaillée du faciès wealdien: le forage CR16.	51
D- Datations: le forage CR16.	51
<i>1- Introduction.</i>	51
<i>2- Limites adoptées par Gaz de France.</i>	52
<i>a- Les critères.</i>	52
<i>b- Les limites.</i>	52
<i>3- Limites chronostratigraphiques données par la micropaléontologie.</i>	53
<i>a- Méthode.</i>	53
<i>b- Applications au puits CR16.</i>	53
<i>c- Conclusions.</i>	54
III- CORRELATIONS SUR LE SITE DE GERMIGNY-SOUS-COULOMBS / CROUY-SUR-OURCQ.	
A- Introduction.	54
B- Utilisation des données paléontologiques.	54
<i>1- Le forage CR2.</i>	54
<i>2- Le forage CR3.</i>	54
<i>3- Le forage CR15.</i>	55

	<i>PAGES</i>
4- <i>Le forage CR7.</i>	55
5- <i>Conclusion.</i>	55
C- Utilisation des faciès et des electrofaciès.	56
1- <i>Le faciès.</i>	56
2- <i>Les electrofaciès.</i>	57
D- Utilisation des minéraux argileux.	59
E- Conclusion.	62
IV- ANALYSE DES COMPOSANTS DU SEDIMENT.	63
A- Les éléments figurés.	63
1- <i>Morphologie.</i>	63
2- <i>Composition minéralogique.</i>	63
3- <i>Répartition spatio-temporelle des pelotes.</i>	66
B- Les minéraux accessoires.	67
1- <i>Répartition dans les sondages.</i>	67
2- <i>Problème de la jarosite.</i>	68
3- <i>Problème de la "glauconie".</i>	69
a- <i>Introduction.</i>	69
b- <i>Généralités.</i>	69
c- <i>Résultats.</i>	70
d- <i>Discussion.</i>	72
4- <i>Synthèse</i>	75
C- Etude de la matière organique.	77
1- <i>Introduction.</i>	77
2- <i>Résultats.</i>	78
3- <i>Interprétation.</i>	79

	PAGES
4- Conclusion.	81
D- Etude des minéraux lourds.	81
1- Introduction.	81
2- Résultats.	81
3- Analyse.	81
a- Résultats globaux.	81
b- Les minéraux "marqueurs".	81
4- Conclusion.	83
V-ANALYSE DE LA FRACTION ARGILEUSE.	84
A- Présentation d'ensemble.	84
1- Introduction.	84
2- Résultats quantitatifs.	84
3- Le problème de la smectite.	85
4- Variations globales des cortèges argileux.	85
a- Le forage CR16.	85
b- Les forages CR2, CR3, CR7 et CR15.	86
B- Variations en relation avec le faciès.	87
1- Introduction.	87
2- Mise en évidence de "l'effet d'argile".	87
a- Relation argilosité-porosité.	87
b- Relations entre le taux de kaolinite, l'argilosité et la porosité.	89
3- Etude des argiles au microscope électronique à transmission (M.E.T.).	92
a- Introduction.	92
b- Résultats.	92
α- Les niveaux argileux.	92

<i>β- Les niveaux sableux.</i>	92
<i>c- Conclusion</i>	
C- Variations spatio-temporelles des variations des cortèges argileux.	94
<i>1- Introduction.</i>	94
<i>2- Variations dans les assemblages argileux du Valanginien à l'Hauterivien-Barrémien inférieur.</i>	94
<i>3- Variations latérales des cortèges argileux.</i>	95
<i>a- Le faciès wealdien "argileux" ($QA \geq 50\%$) dans son ensemble.</i>	95
<i>b- Les niveaux argileux du Valanginien d'une part, et à l'Hauterivien-Barrémien inférieur d'autre part.</i>	95
D- Signification des variations.	95
VI- INTERPRETATION.	98
A- Introduction.	98
B- Origine du matériel sédimentaire.	99
C- Environnement et modalités de dépôt de la formation wealdienne au puits CR16.	101
<i>1- Introduction.</i>	101
<i>2- Identification des électroséquences.</i>	101
<i>a- Analyse des électroséquences n° 1 à 8.</i>	103
<i>b- Analyse des électroséquences n° 9 à 13.</i>	103
<i>3- Interprétation des données issues de l'analyse électroséquentielle et de l'examen des faciès.</i>	104
<i>a- Les électroséquences n° 1 à 7 du Valanginien.</i>	104
<i>b- Les électroséquences n° 9 à 13 de l'Hauterivien-Barrémien inférieur.</i>	104
<i>c- L'électroséquences n° 8 du Valanginien supérieur.</i>	108
<i>4- Conclusion.</i>	109

	PAGES
D- Evolution latérale des milieux de sédimentation mis en évidence au puits CR16.	109
1- <i>Evolution spatio-temporelle.</i>	109
2- <i>Evolution spatio-temporelle des modalités de dépôt.</i>	116
a- <i>Le Valanginien.</i>	116
b- <i>L'Hauterivien-Barrémien inférieur.</i>	120
3- <i>Conclusion.</i>	120
E- Conclusion.	124

**CHAPITRE V : ETUDE DES SECTEURS
DE LA CHAPELLE-EN-VEXIN / SAINT-CLAIR-SUR-EPTE
ET DE VREGNY / NANTEUIL-LA-FOSSE**

I- SECTEUR DE LA CHAPELLE-EN-VEXIN.	127
A- Présentation structurale.	127
B- Présentation des formations wealdiennes : Forage Vn12.	127
C- Résultats des analyses.	129
1- <i>Analyses micropaléontologiques.</i>	129
2- <i>Analyses minéralogiques.</i>	130
3- <i>Analyse électroséquentielle.</i>	130
a- <i>L'ensemble A.</i>	130
b- <i>l'ensemble B.</i>	130
D- Interprétation.	130
E- Conclusion.	131

	PAGES
II- LE SECTEUR DE VREGNY / NANTEUIL-LA-FOSSE.	132
A- Présentation des formations étudiées.	132
B- Résultats des analyses.	133
1- <i>L'Albien-faciès Gault.</i>	133
2- <i>L'Albien-faciès Sables Verts.</i>	133
3- <i>Le Crétacé inférieur indifférencié.</i>	134
C- Conclusion.	134

CHAPITRE VI : ETUDE DU SECTEUR DE GOURNAY-SUR-ARONDE.

I- PRESENTATION DU "FACIES WEALDIEN". BILAN DES ETUDES G.d.F.-I.F.P.	137
A- Le "faciès wealdien" de Gournay-sur-Aronde.	137
1- <i>Les limites.</i>	137
2- <i>Caractéristiques lithofaciologiques des unités constitutives du "faciès wealdien" et leur évolution horizontale.</i>	139
a- <i>La "Couverture wealdienne" (C.W.).</i>	140
b- <i>Le réservoir wealdien.</i>	140
c- <i>Le "Complexe de base".</i>	142
B- Interprétation sédimentologique.	143
II- ETUDE DU SECTEUR DE GOURNAY-SUR-ARONDE.	145
A- Matériel d'étude. Méthodologie mise en oeuvre.	145
B- Résultats des analyses.	146

	PAGES
<i>1- Le problème des limites.</i>	146
<i>2- Caractéristiques des unités.</i>	148
<i>a- La "Couverture wealdienne".</i>	148
<i>b- Le réservoir wealdien.</i>	148
<i>c- Le Purbeckien ou "Complexe de base".</i>	150
<i>3- Environnement de dépôt.</i>	151
III- CONCLUSION.	152
CHAPITRE VII : CONCLUSION GENERALE	
INTERPRETATION	
I. LES FAITS MAJEURS.	154
II. INTEGRATION DE CES RESULTATS AUX ETUDES ANTERIEURES A L'ECHELLE DU BASSIN DE PARIS.	155
A. Répartition des formations wealdiennes à l'échelle du Bassin de Paris.	155
B. Extension des cycles transgressifs.	157
C. Interprétation.	159
D. Relations avec l'Europe du Nord-Ouest.	159
BIBLIOGRAPHIE	161

VOLUME 1

LISTE DES FIGURES

Fig. 1.- Carte du Sud de l'Angleterre montrant l'extension géographique de l'anticlinal du Weald, des affleurements des "Purbeck Beds", des "Hastings Beds" et de la "Weald Clay".

Fig. 1.- *Map of southern England showing the areal extent of the anticlyne of the Weald and outcrops of the Purbeck and Wealden.* p. 1

Fig. 2.- Corrélations provisoires d'une partie des "Purbeck Beds" et du Wealdien avec les étages marins.

Fig. 2.- *Provisional correlations with marine stages of part of the Purbeck Beds and the Wealden.* p. 2

Fig. 3.- Cyclothème "standard" des "Hastings Beds", du Weald (Angleterre), composé d'une phase arénacée à la base et d'une phase argileuse au sommet.

Fig. 3.- *"Standard" cyclothem of the Hastings Beds of the Weald (England). It comprises an arenaceous term and an argillaceous one.* p. 3

Fig. 4.- Equivalences probables des mégacyclothèmes du Weald avec les transgressions dans le Bassin de Paris.

Fig. 4.- *Possible correlation of Wealden megacyclothems with transgressions in the Paris Basin (After P. Allen, 1959).* p. 5

Fig. 5.- Distribution et tailles arbitraires des cônes de déjection.
(Modifié ; in P. Allen, 1981).

Fig. 5.- Model for arenaceous formations in S-England. Arbitrary
distribution of fan types and dimensions. (Modified ; in P.
Allen, 1981).

p. 7

Fig. 6.- Modèle pour le dépôt des formations argileuses dans le Sud de
l'Angleterre. (Modifié ; in P. Allen, 1981).

Fig. 6.- Model for argillaceous formations in S-England. (Modified ;
in P. Allen, 1981).

p. 7

Fig. 7.- Europe du Nord-Ouest. Extension du faciès wealdien (in Allen
P., 1967 et Ziegler P.A., 1978, modifié).

Fig. 7.- North-Europe. Extent of inferred and present wealden facies.

p. 9

Fig. 8.- Proposition de corrélations entre le Wealdien du Weald et le
faciès wealdien en Europe du Nord-Ouest (Allen P., 1955).

Fig. 8.- Proposed correlation of true Wealden and of Wealden facies in
north-western Europe (Allen P., 1955).

p. 10

Fig. 9.- Cadre paléogéographique du Bassin et extension du faciès
wealdien, au Crétacé inférieur.

Fig. 9.- Paleogeographical frame of the Paris Basin and extention of
the Wealden facies during Lower Certaceous.

p. 14

Fig. 10.- Bassin de Paris ; cadre structural. Extension des faciès marins au Crétacé inférieur (Megnien, 1971 ; Gerard, 1971 ; Lorenz, 1980).

Fig. 10.- Paris Basin ; general structure. Extension of marine facies during Lower Cretaceous (Megnien, 1971 ; Gerard, 1971 ; Lorenz, 1980).

p. 15

Fig. 11.- Zonation du Néocomien-Wealdien du Bassin de Paris selon le faciès. Localités citées et secteurs (en encadrés) étudiés dans ce travail.

Fig. 11.- Zonation of the "Wealden" in the Paris basin according to the lithofacies. Mentioned localities and studied areas (enclosed).

p.16

Fig. 12.- Tableau des équivalences. Zones CEP - Nomenclature CEP. Equivalents à l'affleurement et les milieux de dépôts correspondants.

Fig. 12.- Table of the equivalents of the CEP areas - CEP designation. Outcrops and the corresponding deposit environments.

p. 17

Fig. 13.- Coupe SE-NW de Châteaurenard à Le Vexin au niveau du Néocomien-Wealdien.

Fig. 13.- Cross-section from Châteaurenard to Le Vexin (SE-NW) of the Wealden facies.

p. 18

Fig. 14.- Coupe schématique des passages du Valanginien, de l'Hauterivien et du Barrémien depuis les affleurements de l'Yonne jusqu'au centre du bassin.

Fig. 14.- Schematic cross-section of the passages of Valanginian, Hauterivian and Barremian from outcrops of Yonne to the center of the basin

p. 19

Fig. 15.- Zone d'étude : localisation des sites Gaz de France dans le centre Nord du Bassin de Paris.

Fig. 15.- Studied area : localisation of the drill sites of Gaz de France in the North-central area of the Paris basin.

p. 23

Fig. 16.- Structure anticlinale de Crouy-sur-Ourcq/Germigny-sous-Coulombs au toit du faciès wealdien (isobathes en m) et position des forages.

Fig. 16.- Anticline of Crouy-sur-Ourcq/Germigny-sous-Coulombs. Isobaths (in m) of the Wealden facies and localisation of the wells.

p. 25

Fig. 17.- Structure anticlinale de Gournay-sur-Aronde au toit du réservoir wealdien. Isobathes en m et position des forages.

Fig. 17.- Anticline of Gournay-sur-Aronde at the top of the Wealden reservoir. Isobaths (in m) of the Wealden facies and localisation of the wells.

p. 26

Fig. 18.- Structure anticlinale de La Chapelle en Vexin. Isobathes au toit du Portlandien et position de quelques forages.

Fig. 18.- Anticline of La Chapelle en Vexin. Isobaths of the Portlandian and localisation of some wells.

p. 27

Fig. 19.- Anticlinal de Vregny ; Isochrones au toit du Kimméridgien et position des deux puits (ms temps doubles).

Fig. 19.- Anticline of Vregny ; Isochrons of the Kimmeridgian and localisation of the two wells.

p. 28

- Fig. 20.- Le faciès wealdien de Crouy-sur-Ourcq ; Chronostratigraphie et terminologie G.d.F.
- Fig. 20.- *The Wealden facies of Crouy-sur-Ourcq ; Chronostratigraphy and nomenclature of Gaz de France.* p. 29
- Fig. 21.- Le faciès wealdien de Gournay-sur-Aronde ; terminologie G.d.F.
- Fig. 21.- *The Wealden facies of Gournay-sur-Aronde ; nomenclature of Gaz de France.* p. 30
- Fig. 22.- Le faciès wealdien de La Chapelle-en-Vexin ; terminologie G.d.F.
- Fig. 22.- *The Wealden facies of La Chapelle-en-Vexin ; nomenclature of Gaz de France.* p. 31
- Fig. 23.- Le faciès wealdien de Vregny/Nanteuil-la-Fosse ; terminologie G.d.F.
- Fig. 23.- *The Wealden facies of Vregny/Nanteuil-la-Fosse ; nomenclature of Gaz de France.* p. 32
- Fig. 24.- Schéma du principe de fonctionnement du Rock-Eval II muni d'un "module de carbone".
- Fig. 24.- *Technical device of the Rock-Eval II.* p. 34
- Fig. 25.- Schéma du principe du cycle d'analyse n° 1 du Rock-Eval II muni d'un "module de carbone".
- Fig. 25.- *Principle of the analyses cycle of the Rock-Eval II.* p. 35

Fig. 26.- Exemple d'enregistrement du Rock-Eval (Ungerer et Durand, 1987).

Fig. 26.- Example of record of the Rock-Eval (Ungerer and Durand, 1987).

p. 36

Fig. 27.- Résumé des interférences entre les paramètres mesurés, le type de matière organique et "l'histoire" physicochimique.

Fig. 27.- Sum-up of the interferences between the measured parameters, the type of the organic matter and the physicochemical "story".

p. 38

Fig. 28.- Classification des électrofaciès d'après la forme des courbes de potentiel spontané (Serra, 1985).

Fig. 28.- Classification of the shapes of the Spontaneous Potential curves (in Serra, 1985).

p. 40

Fig. 29.- Représentation d'un électrofaciès par une rosace (a), un histogramme (b), des échelles (c). (Dans Well Evaluation Conference, Algeria 1979 ; Serra, 1985).

Fig. 29.- Representation of an electrofacies by mean of a rosette (a), an histogram (b), scales (c). (In Well Evaluation Conference, Algeria 1979 ; Serra, 1985).

p. 41

Fig. 30.- Classification des formes de courbe de P.S. en termes de modèles sédimentaires. 5).

Fig. 30.- Classification of the shapes of the S.P. Curves in terms of sedimentary models (in Serra, 1985).

p. 42

Fig. 31.- Principe du pendagemètre montrant les différentes mesures effectuées par l'outil (document Dresser - Atlas).

Fig. 31.- Principle of the Dipmeter showing the different parameters that are measured by the tool (Dresser - Atlas document).

p. 44

Fig. 32.- Tracé-flèche type (Têtard) (Schlumberger, 1981).

Fig. 32.- A typical arrow ("tadpole") plot (in Schlumberger, 1981).

p. 45

Fig. 33.- Exemple de Germigny-sous-Coulombs montrant la variété des lithofaciès en relation avec l'argilosité (Q_A).

Fig. 33.- Example of Germigny-sous-Coulombs showing the diversity of the lithofacies in relation to the shaliness (Q_A).

p. 47

Fig. 34.- Echelle illustrant les intervalles d'argilosité pris en considération pour aboutir aux lithologies simplifiées.

Fig. 34.- Scale illustrating the intervals of the shaliness taken in account to obtain the various simplified lithologies.

p. 48

Fig. 35.- Electrofaciès des bancs C.W. (Couverture Wealdienne), C1 et C2 des puits CR2, CR3, CR7, CR15, CR16.

Fig. 35.- Electrofacies of the beds C.W. (Wealden cap rock), C1 and C2 of the wells CR2, CR3, CR7, CR15, CR16.

p. 57

Fig. 36.- Tableau des lectures des diagraphies différées (Gamma Ray, Densité, Résistivités, Porosité, Sonic) pour l'établissement des électrofaciès.

Fig. 36.- Readings of the electrical Logs (Gamma Ray, Density, Resistivities, Porosity, Transit time), used to establish the electrofacies.

p. 58

Fig. 37.- Site de Germigny-sous-Coulombs. Représentation en fonction de la profondeur du rapport Illite (%) / Kaolinite (%).

Fig. 37.- Site of Germigny-sous-Coulombs. Variations of the ratio Illite (%) / Kaolinite (%), versus depth.

p. 60

Fig. 38.- Site de Germigny-sous-Coulombs. Positions géographiques relatives des 5 sondages.

Fig. 38.- Germigny-sous-Coulombs site. Relative locations of the five wells.

p. 61

Fig. 39.- Diffractogramme de R.X. sur les oïdes vertes (Ka Fe).

Fig. 39.- Diffractogram of the green ooids (Ka Fe).

p. 64

Fig. 40.- Taux de calcium, de fer et d'aluminium des différents oïdes ainsi que leurs taux moyens respectifs (X).

Fig. 40.- Abundances in calcium, iron and aluminium according to the color of the ooids.

p. 65

Fig. 41.- Teneurs (%) en calcium, fer, aluminium de points isolés, particuliers, dans les oïdes (Co = couronne).

Fig. 41.- Abundances (%) in calcium, iron, aluminium of particular zones in the ooids.

p. 66

Fig. 42.- Site de Germigny-sous-Coulombs. Répartition des oïdes.

Fig. 42.- Site of Germigny-sous-Coulombs. Distribution of the ooids.

p. 66

Fig. 43.- Site de Germigny-sous-Coulombs. Extension des aires à oolithes.

Fig. 43.- Site of Germigny-sous-Coulombs. Extension of the "oolitic area".

p. 67

Fig. 44.-Relation entre les taux de carbone organique, le rapport I (%) / K (%) et la cristallinité de l'illite d'une part et la présence de jarosite d'autre part.

Fig. 44.- Relation between the percentage of the organic carbon, the ratio Illite (%) / Kaolinite (%) and the cristallinity index of illite, first, and the occurrence of jarosite, second.

p. 69

Fig. 45.- Diffractogramme de R.X. réalisé sur le matériel vert (éch. CR16-7) colorant les sables.

Fig. 45.- X.R. diffractogram of the green material which colors the sands (sample CR16-7).

p. 71

Fig. 46.- Composition des pelotes grises (blanches), brunes (rouilles) et vertes des sédiments du delta de l'Ogooué (Gabon), (in Giresse P., 1969).

Fig. 46.- Components of the grey (whitish), brown (ferruginous) and green pellets of the sediments of the Ogooué Delta (Gabon), (in Giresse P., 1969).

p. 73

Fig. 47.- Site de Germigny-sous-Coulombs. Répartition spatio-temporelle des différents types de pelotes.

Fig. 47.- Germigny-sous-Coulombs. Distribution in the space and in the time of the different types of pellets.

p. 74

Fig. 48.- Site de Germigny-sous-Coulombs. Répartition spatio temporelle des composants secondaires des sédiments.

Fig. 48.- *Germigny-sous-Coulombs site. Distribution in the space and in the time of the accessory components in the sediments.*

p. 76

Fig. 49a.- Report des résultats "Rock-Eval" sur un diagramme Tmax (°C) / I.H.. Site de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 49a.- *"Rock)Eval" results plotted on a diagram Tmax (°C) versus H.I.. Germigny-sous-Coulombs.*

p. 77

Fig. 49b.- Report des résultats "Rock-Eval" sur un diagramme I.O. / I.H.. Site de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 49b.- *"Rock)Eval" results plotted on a diagram O.I. versus H.I.. Germigny-sous-Coulombs.*

p. 78

Fig. 50.- Variations en fonction de la profondeur du rapport I.H. / I.O.. site de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 50.- *H.I. / O.I. versus depth . Germigny-sous-Coulombs.*

p. 80

Fig. 51.- Bassin de Paris. Report géographique des abondances relatives des minéraux "marqueurs", sites de Germigny-sous-Coulombs, Gournay-sur-Aronde, Le Vexin; secteurs du Pays de Bray et de Paris (Ivry-Pantin).

Fig. 51.- *Basin of Paris. Relative abundances of the characteristic heavy minerals and their location : sites of Germigny-sous-Coulombs, Gournay-sur-Aronde, Le Vexin, Pays de Bray, Ivry-Pantin.*

p. 82

- Fig. 52.- Bassin de Paris. Zones d'apport pour les sites de Germigny-sous-Coulombs, Gournay-sur-Aronde, Le Vexin, le Pays de Bray, le secteur de Paris (Ivry-Pantin) d'après les minéraux lourds.
- Fig. 52.- Basin of Paris. Supplier zones for the sites of Germigny-sous-Coulombs, Gournay-sur-Aronde, Le Vexin, le Pays de Bray, the wells of Paris (Ivry-Pantin) from the heavy minerals data. p. 83
- Fig. 53.- Taux moyens des minéraux argileux sur le site de Germigny-sous-Coulombs.
- Fig. 53.- Average clay minerals assemblies. Germigny-sous-Coulombs site. p. 85
- Fig. 54.- Mise en évidence d'une bonne corrélation argilosité-porosité (pointé Q_A en fonction de $F_{C.P.I.}$).
- Fig. 54.- Cross-plot Q_A (shaliness) versus $F_{C.P.I.}$ (Porosity). p. 88
- Fig. 55.- Recherche d'une loi de perméabilité (K) au couple porosité-argilosité ($K = f(F_{C.P.I.} / Q_A)$).
- Fig. 55.- Relationship between the permeability (K) and the ratio porosity / shaliness (F / Q_A). p. 89
- Fig. 56.- Relation entre l'abondance en kaolinite (%) et l'argilosité (Q_A). Pointé Q_K-Q_A .
- Fig. 56.- Relationship between the abundance of kaolinite (Q_K) and the shaliness (Q_A). p. 90
- Fig. 57.- Relation entre l'abondance en kaolinite (%) et la porosité ($F_{C.P.I.}$). Pointé $Q_K - F_{C.P.I.}$.
- Fig. 57.- Relationship between the abundance of kaolinite (Q_K) and the porosity ($F_{C.P.I.}$). p. 91

Fig. 58a.- Variations spatiales des cortèges argileux.

Fig. 58a.- Spatial variations of the clay minerals assemblies during the Wealden times. Germigny-sous-Coulombs site.

p. 96

Fig. 58b.- Variations spatiales des cortèges argileux. Valeurs moyennes calculées sur les bancs argileux ($Q_A \geq 50 \%$) sur l'ensemble du Valanginien en chaque puits de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 58b.- Spatial variations of the clay minerals assemblies during the Valanginian. Germigny-sous-Coulombs site.

p. 96

Fig. 58c.- Variations spatiales des cortèges argileux. Valeurs moyennes calculées sur les bancs argileux ($Q_A \geq 50 \%$) sur l'ensemble de l'Hauterivien-Barrémien inférieur en chaque puits de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 58c.- Spatial variations of the clay minerals assemblies during the Hauterivian-Lower Barremian. Germigny-sous-Coulombs site.

p. 96

Fig. 59.- Synthèse des variations spatiales des cortèges argileux.

Fig. 59.- Synthesis of the variations of the clay minerals assemblies.

p. 98

Fig. 60.- Evolution schématique des apports détritiques de la limite Jurassique-Crétacé au Barrémien inférieur sur le site de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 60.- Schematical evolution of the clastic deposits from the Upper Jurassic to the Lower Barremian in the Germigny-sous-Coulombs' area.

p. 100

Fig. 61.- Analyse électroséquentielle au puits CR16.

Fig. 61.- *Well CR16 : electrosequential analysis.* p. 102

Fig. 62.- Puits CR16 : résultats des analyses micropaléontologiques (microflore-microfaune) et minéralogiques (Illite / Kaolinite). Signification en terme de milieu de dépôt.

Fig. 62.- *Well CR16 : Results of micropaleontological analysis (Microfloras-microfaunas). Environment of deposition.* p. 106

Fig. 63.- Séquence verticale dans le delta du Mississippi (d'après Scruton, 1960).

Fig. 63.- *Vertical sequence in the Mississippi delta (from Scruton, 1960).* p. 107

Fig. 64.- Puits CR15 : résultats des analyses micropaléontologiques (microflore-microfaune) et minéralogiques (Illite / Kaolinite). Signification en terme de milieu de dépôt.

Fig. 64.- *Well CR15 : Results of micropaleontological analysis (Microfloras-microfaunas). Environment of deposition.* p. 110

Fig. 65.- Puits CR2 : résultats des analyses micropaléontologiques (microflore-microfaune) et minéralogiques (Illite / Kaolinite). Signification en terme de milieu de dépôt.

Fig. 65.- *Well CR2 : Results of micropaleontological analysis (Microfloras-microfaunas). Environment of deposition.* p. 111

- Fig. 66.- Puits CR3 : résultats des analyses micropaléontologiques (microflore-microfaune) et minéralogiques (Illite / Kaolinite). Signification en terme de milieu de dépôt.
- Fig. 66.- Well CR3 : Results of micropaleontological analysis (Microfloras-microfaunas). Environment of deposition. p. 112
- Fig. 67.- Puits CR7 : résultats des analyses micropaléontologiques (microflore-microfaune) et minéralogiques (Illite / Kaolinite). Signification en terme de milieu de dépôt.
- Fig. 67.- Well CR7 : Results of micropaleontological analysis (Microfloras-microfaunas). Environment of deposition. p. 113
- Fig. 68.- Evolution schématique des contextes sédimentaires sur le site de Germigny-sous-Coulombs.
- Fig. 68.- Schematic evolution of the sedimentary environments in the Germigny-sous-Coulombs' area. p. 115
- Fig. 69.- Site de Germigny-sous-Coulombs. Corrélation des électroséquences, puits CR9, CR16, CR12, CR7.
- Fig. 69.- Germigny-sous-Coulombs site; correlation of the electrosequences : well CR9, CR16, CR12, CR7. p. 116
- Fig. 70.- Coupe schématique des séquences sableuses.
- Fig. 70.- Logs of sandy sequences. p. 117
- Fig. 71.- Correspondances entre le type de séquence, le mécanisme de dépôt et la géométrie sédimentaire. (Publication ENSPM).
- Fig. 71.- Relations between the type of the sequence, the mechanism of deposit and the sedimentary environment. p. 118

Fig. 72.- Evolution amont-aval des caractères des corps sableux.
(Publication ENSPM).

Fig. 72.- *Upstream-downstream evolution of the sandy bodies.* p. 119

Fig. 73.- Répartition des oolithes et des principaux axes fluviatiles de l'Hauterivien au Barrémien inférieur dans la région de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 73.- *Geographical evolution of the ooliths and of the main fluviatil axis since the Hauterivian to the Lower Barremian in the Germigny-sous-Coulombs' area.* p. 121

Fig. 74.- Paléogéographie de la région de Germigny-sous-Coulombs au Valanginien (a) et à l'Hauterivien basal (b).

Fig. 74.- *Paleogeography of the Germigny-sous-Coulombs' country during Valanginian (a) and Lower Hauterivian. (b).* p. 122

Fig. 75.- Progradation de la plaine deltaïque sur le front de delta (a); coupe sédimentaire d'une séquence complète et stratigraphie d'ensemble après construction (b); application à Germigny-sous-Coulombs (c); (Publication ENSPM).

Fig. 75.- *Progradation of the delta plain on the delta front (a); sedimentology log of a sequence and stratigraphy after the building (b); application to the Germigny-sous-Coulombs site (c).* p. 123

Fig. 76.- Limites de transgressions à l'Hauterivien et au Barrémien inférieur dans le Bassin de Paris.

Fig. 76.- *Extents of the Hauterivian and Lower Barremian transgressions in the Bassin de Paris.* p. 126

Fig. 77.- Log des résultats des analyses au puits Vn12
(Micropaléontologie, Minéralogie des argiles, Lithofaciès).

Fig. 77.- Log of the results (Micropaleontology, Clay minerals
assemblies, Lithology). Well Vn12.

p. 129

Fig. 78.- Log des résultats des analyses au puits NF1
(Micropaléontologie, Minéralogie des argiles, Lithofaciès).

Fig. 78.- Log of the results (Micropaleontology, Clay minerals
assemblies, Lithology). Well NF1.

p. 132

Fig. 79.- Log des résultats des analyses au puits NF2
(Micropaléontologie, Minéralogie des argiles, Lithofaciès).

Fig. 79.- Log of the results (Micropaleontology, Clay minerals
assemblies, Lithology). Well NF2.

p. 133

Fig. 80.- Corrélations entre les puits NF1 et NF2.

Fig. 80.- Correlations between the wells NF1 and NF2.

p. 135

Fig. 81.- Site de Gournay-sur-Aronde. Puits de référence SR112.
Lithofaciès, limites et datations selon G.d.F.

Fig. 81.- Site of Gournay-sur-Aronde. Well SR112. Lithofacies, limit
and ages according to G.d.F.

p. 138

Fig. 82.- Site de Gournay-sur-Aronde. Isopaques du "faciès wealdien" ;
(G.d.F.).

Fig. 82.- Site of Gournay-sur-Aronde. Isopachytes of the "Wealden
facies" ; (G.d.F.).

p. 139

- Fig. 83.- Site de Gournay-sur-Aronde. Isopaques de la "Couverture wealdienne" (C.W.) ; (G.d.F.).
- Fig. 83.- Site of Gournay-sur-Aronde. Isopachytes of the "Wealden cap-rock"; (G.d.F.). p. 140
- Fig. 84.- Site de Gournay-sur-Aronde. Courbes d'iso argiolsité (%) des sables supérieurs ; (G.d.F.).
- Fig. 84.- Site of Gournay-sur-Aronde. Curves of equal shaliness (%) of the upper sands ; (G.d.F.). p. 141
- Fig. 85.- Site de Gournay-sur-Aronde. Courbes d'iso argiolsité (%) des sables inférieurs ; (G.d.F.).
- Fig. 85.- Site of Gournay-sur-Aronde. Curves of equal shaliness (%) of the lower sands ; (G.d.F.). p. 142
- Fig. 86.- Modèle d'un ensemble de barres côtières applicable à la "Couverture wealdienne" (Allen J.R.L., 1968).
- Fig. 86.- Model of tidal bore applicable to the "Wealden cap-rock". (Allen J.R.L., 1968). p. 144
- Fig. 87.- Interpretation sédimentologique de la carte isopaque de la "Couverture wealdienne" ; (G.d.F.).
- Fig. 87.- Sedimentological interpretation of the isopachyte map of the "Wealden cap-rock" ; (G.d.F.). p. 145
- Fig. 88.- Datation résumée des divisions constitutives du "faciès wealdien" de Gournay-sur-Aronde.
- Fig. 88.- Datation of the constituent units of the "Wealden facies" of Gournay-sur-Aronde. p. 147

Fig. 89.- Puits SR112 ; report en fonction de la profondeur du quartile 50 (Mediane) lu sur les courbes cumulatives (vol. 2, partie IV, fig. 62).

Fig. 89.- Well SR 112 ; Medians as a function of the depth read on the cumulativ curves (vol. 2, part IV, fig. 62).

p. 150

Fig. 90.- Report des résultats "Rock-Eval" sur des diagrammes IO/IH et Tmax (°C)/IH. Site de Gournay-sur-Aronde.

Fig. 90.- "Rock-Eval" results plotted on diagrams IO/IH and Tmax (°C)/IH. Site of Gournay-sur-Aronde.

p. 151-152

Fig. 91.- Bloc diagramme du modèle sédimentologique appliqué à la Couverture wealdienne.

Fig. 91.- Sedimentological model of the "Wealden cap-rock" ;.

p. 153

Fig. 92.- Répartition des zones de faciès des formations wealdiennes dans le Bassin de Paris.

Fig. 92.- Basin of paris : Distribution of the various facies of the Wealden formations.

p. 156

Fig. 93.- Extensions de la mer alpine à l'Hauterivien et au Barrémien inférieur dans le Bassin de Paris.

Fig. 93.- Basin of Paris : Extensions of the Tethys Sea during Hauterivian and Lower Barremian.

p. 158

CHAPITRE I

LE WEALDIEN - PRESENTATION

CHAPITRE I : LE WEALDIEN - PRESENTATION.

I- LE WEALDIEN EN ANGLETERRE.

A- Origine - Datations.

Le terme de "Wealdien" tire son origine d'une région du Sud-Est de l'Angleterre, le Weald, qui rassemble les comtés du Sussex, du Kent et du Surrey (fig. 1) où affleurent des formations d'âge Jurassique terminal et Crétacé inférieur. Le mot "Weald" a été utilisé pour nommer les formations en question au moins à partir de 1812 (Middleton's "Weald Measures"). Mais c'est plus tard, après que les termes "Weald Clay" (Conybeare, in Conybeare et Phillips, 1822) et "Hastings Sands" (Fitton, 1824) soient devenus d'un emploi courant, que Martin (1828) proposa "Wealdien" pour l'ensemble de la formation. Et ce n'est que dans les années 1870 que ce nom fut utilisé couramment pour des niveaux similaires en France et en Allemagne (Lapparent, 1879; Struckmann, 1880).

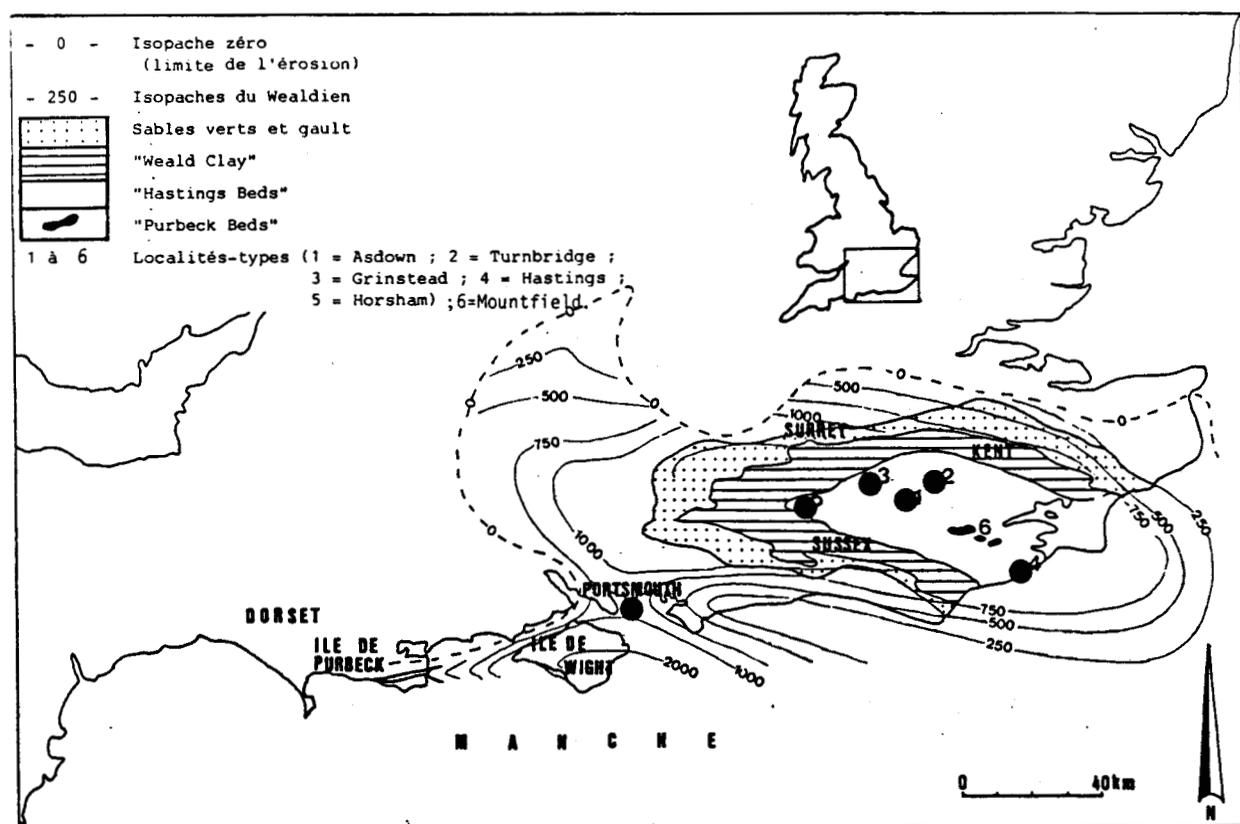


Fig. 1.- Carte du Sud de l'Angleterre montrant l'extension géographique de l'anticlinal du Weald, des affleurements des "Purbeck Beds", des "Hastings Beds" et de la "Weald Clay". L'épaisseur du Wealdien (isopaches) ainsi que les localités type sont également reportées.

Fig. 1.- Map of southern England showing the areal extent of the anticlyne of the Weald and outcrops of the Purbeck and Wealden.

Trois termes majeurs ou groupes ont été distingués (Allen, 1955), du bas vers le haut, (fig. 2) :

- les "Purbeck Beds", carbonatés;
- les "Hastings Beds", essentiellement arénacées;
- la "Weald Clay", argileuse.

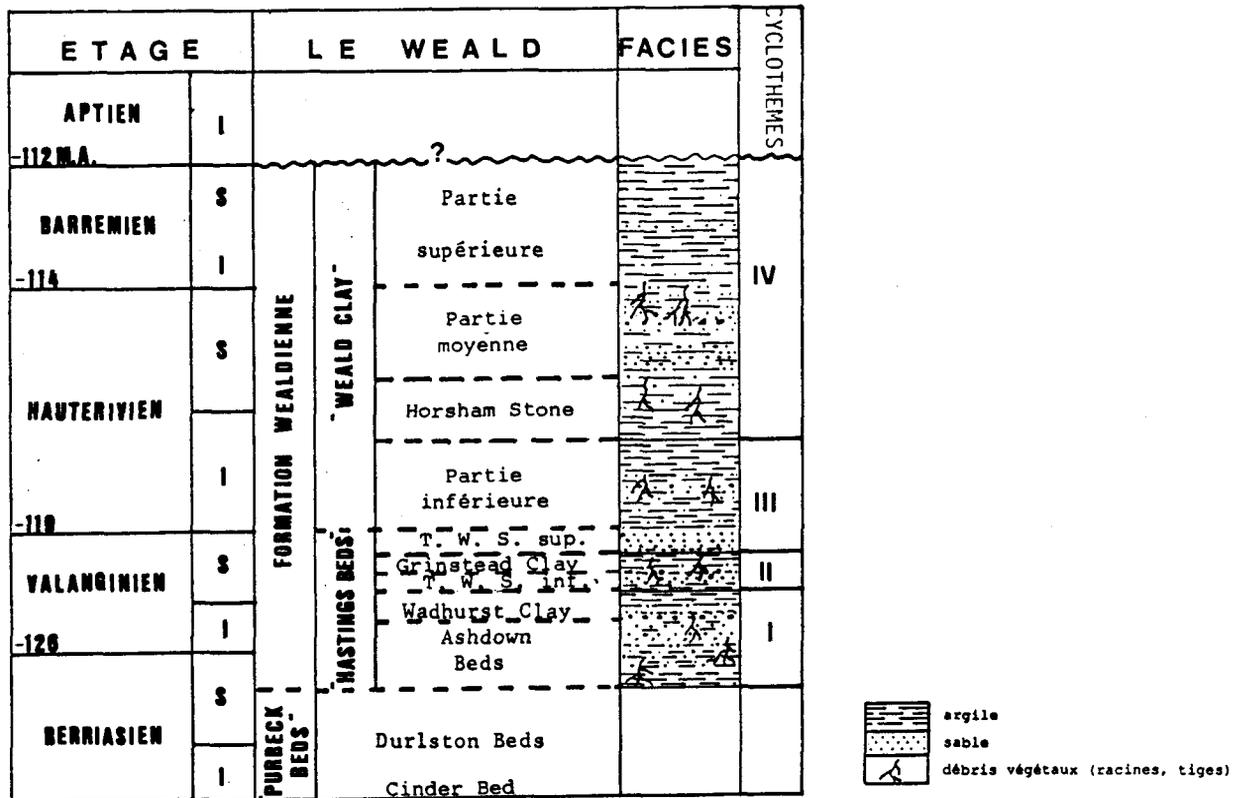


Fig. 2.- Corrélations provisoires d'une partie des "Purbeck Beds" et du Wealdien avec les étages marins. Les âges correspondent aux valeurs données par G.S. Odin et W.S. Kennedy (1982). Un résumé des faciès est reporté sur la droite (adaptée de Batten, 1987).

Fig. 2.- Provisional correlations with marine stages of part of the Purbeck Beds and the Wealden. The ages correspond to the data given by G.S. Odin and W.S. Kennedy (1982). A summary of the lithofacies is reported on the right side (adapted from Batten, 1987).

Les "Purbeck Beds" affleurent surtout dans "l'île" de Purbeck, Comté du Dorset (fig. 1) et correspondent à des faciès régressifs. Les "Hastings Beds" et la "Weald Clay" affleurent largement dans la région du Weald, (fig. 1), et sont constitués par des dépôts non marins à dominante continentale ou "faciès wealdien" s.s. Les rapports entre le "Purbeckien" et le "Wealdien" sont mal définis en raison du manque de corrélations paléontologiques.

La stratigraphie des principales formations est esquissée ci-contre (fig. 2) (Batten, 1987) :

- La "Cinder Bed" du "Middle Purbeck" est prise comme base du Crétacé en Angleterre du Sud, (Anderson et Bazley, 1971; Casey, 1973). Elle est reconnue dans une grande partie de la province boréale (d'Angleterre en Pologne). Les couches sous-jacentes et sus-jacentes sont, respectivement, les "Lulworth Beds" rattachés au Tithonique et les "Durlston Beds", (Townson, 1975).

Tandis que ces limites sont appropriées dans le Dorset, il n'en est pas de même dans le bassin de Weald puisque la "Cinder Bed" n'y est pas aisément identifiable (Anderson et Bazley, 1971); Lake et Holliday, (1978), ne la considèrent pas comme un repère valable d'autant plus que le passage du Jurassique au Crétacé est progressif. Allen, (1975), au contraire de Rawson *et al*, (1978), inclut la formation "Durlston Beds" dans le faciès wealdien. Dans ce travail, la thèse adoptée est celle de Rawson, (fig. 2). Le faciès wealdien débute avec la formation "Ashdown Beds" et sa base correspond au sommet du dernier banc carbonaté des "Purbeck Beds". Dans ce cas, dans son pays d'origine, le Wealdien est principalement post-Tithonique et pré-Aptien.

Il comprend la partie supérieure du Berriasien et le Valanginien (Hastings Beds), l'Hauterivien et le Barrémien (Allen, 1967) (Weald Clay). La limite supérieure, avec les sables verts de l'Aptien est souvent progressive (Allen, 1955). Il ne semble pas qu'il y ait de lacune importante, la succession "Wealdien - Aptien" étant conforme sur une grande surface, du Weald au Dorset et à l'Hampshire.

B- Localisation - Composantes.

L'allure générale du Weald est un dôme, (fig. 1), habituellement décrit comme un anticlinorium. En son coeur affleurent environ 70 mètres de la partie supérieure des "Ashdowns Beds", (Lake, 1975); les "Purbeck Beds" apparaissent à la faveur d'un réseau de failles en petites "fenêtres" dans la région de Mountfield (Sussex), (fig. 1). Le groupe des "Hastings Beds" présente une succession d'unités argileuses et arénacées et atteint une épaisseur maximum de l'ordre de 400 m dans la zone centrale du Weald. Le groupe de la "Weald Clay" est constitué majoritairement de roches argileuses et s'épaissit vers l'Ouest où il peut atteindre 460 m, (Thurell *et al*, 1968; Lake, 1975).

1- Analyse lithologique

Le faciès wealdien du Weald comprend, à la base, des séries sableuses d'eau douce (les "Hastings Beds") et au sommet une série essentiellement argileuse de milieu saumâtre, (la Weald Clay), (fig. 2). La variabilité horizontale et verticale des faciès est la règle générale. Selon ces deux directions, les dépôts présentent tous les intermédiaires du conglomérat à l'argile pure. Une tendance à l'émersion et la marque d'une faible tranche d'eau sont permanentes dans de nombreux faciès (figures de courant, développement de sols, figure de dessiccation, niveaux à galets, ...). La succession verticale des faciès est remarquablement rythmée (quatre cyclothèmes) avec un type unique de rythme sédimentaire, notamment dans les "Hastings Beds" et, à un degré moindre, dans la "Weald Clay". Le cyclothème "standard" peut être ainsi résumé, (fig. 3), du bas vers le haut :

- la "Thick Silty Clay", argileuse à argilo-silteuse, localement rouge à rouge-bariolé, plus sableuse vers le Nord, s'épaissit du Nord au Sud et le passage à la formation sus-jacente se fait progressivement;

- les "Thick Passage Silstones" et la "Silty Clays" constituent, au Sud, une transition parfaite au "Sandstone" supérieure par un granocroissement progressif. Au Nord, le contenu est plus gréseux et on passe au "Sandstone" par un granodécroissement;

- le "Sandstone" présente un granocroissement vers le haut. Il renferme des galets épars, des traces de racines ainsi que des figures de dessiccation. Localement, on observe des stratifications planes, des structures entrecroisées à grande échelle, des paléochenaux, etc....La formation se termine au Nord par des "Siltstones" argilo-sableux.

Le passage de la formation arénacée à la formation argileuse est souligné par un hiatus brutal montrant des surfaces d'érosion.

- le "Thin Graded Pebble Bed" est discordant. Les galets exogènes dominent, les débris végétaux épars s'organisent fréquemment en couches charbonneuses à la base. Le sommet est ondulé; la partie médiane montre des figures de courant et de dessiccation;

- Le "Equisetites Lyelli Soil Bed" et les "Thin Basal Passage Beds" sont constitués d'une alternance de grès fins lenticulaires à laminations entrecroisées, de silstones et d'argiles. L'ensemble forme une transition parfaitement progressive avec la "Dark Clay" supérieure;

- celle-ci correspond à une argile schisteuse à débris de Equisetites Lyelli;

- le "Thin Neomodion Shell Bed" est bioclastique (Neomodion medius, écailles de Poissons, quelques Gastéropodes); localement, présence d'argile ferrugineuse;
- la "Thick Dark Clay" renferme une faune à Neomodion, Viviparus et des écailles de Poissons. Argileux, ce niveau renferme des grès et des siltstones en bancs minces. Localement, pyrite et niveaux à nodules ferrugineux à la base.

Au sommet du cyclothème, le passage au suivant, se fait graduellement, ou on observe une lacune peu importante avec surface d'érosion.

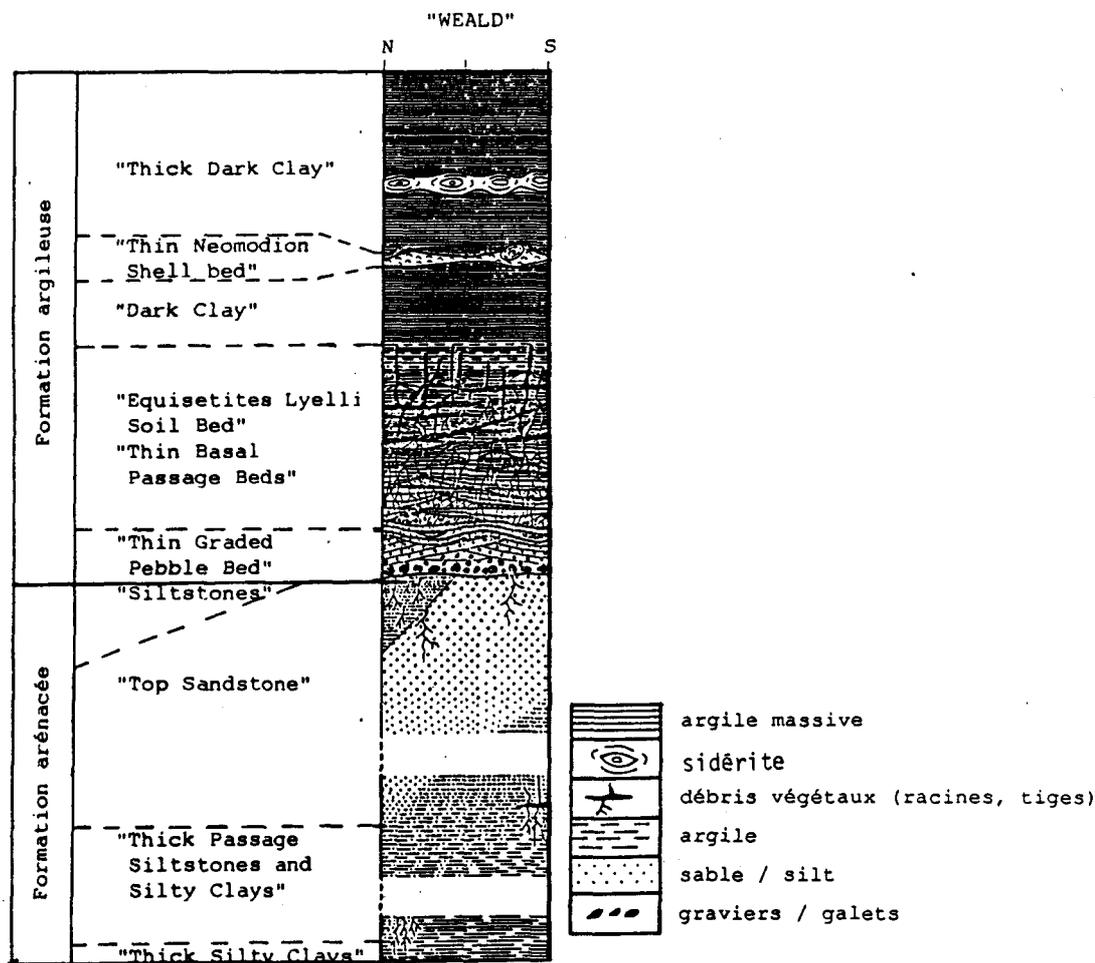


Fig. 3.- Cyclothème "standard" des "Hastings Beds", du Weald (Angleterre), composé d'une phase arénacée à la base et d'une phase argileuse au sommet.

L'épaisseur, variable, oscille entre 75 et 100 m.

Fig. 3.- "Standard" cyclothem of the Hastings Beds of the Weald (England).

It comprises an arenaceous term and an argillaceous one.

A rough estimate of the thickness is 100 m

Selon le cyclothème (au nombre de quatre, fig. 2), certains bancs peuvent manquer, localement ou régionalement tandis que, dans d'autres cas, certains peuvent être dupliqués ou se répéter plusieurs fois. La plus grande ampleur horizontale ainsi qu'une plus grande homogénéité latérale de tous les horizons situés au-dessus de l'interruption brève de sédimentation qui sépare les formations arénacées des formations argileuses, est un fait majeur.

Les quatre cyclothèmes reconnus sont reportés dans le tableau ci-joint, (fig. 4), ainsi que les corrélations possibles avec les transgressions dans le Bassin de Paris et les évolutions du niveau du "lac wealdien", (d'après P. Allen, 1959).

Mégacyclothèmes du "Weald"	Formation	Niveau du "lac Wealdien"	Mer Néocomienne du Bassin de Paris
IV	"Weald Clay" supérieure et moyenne	augmente	Transgression du Barrémien inférieur à Aptien inférieur
	Horsham Stone	diminue	Régression du Barrémien
III	"Weald Clay" inférieure	augmente	Transgression de l'Hauterivien
	Tunbridge Wells Sands" supérieur	diminue	
II	"Grinstead Clay"	augmente	Valanginien tardif à Hauterivien basal
	Tunbridge Wells Sands"	diminue	
I	"Wadhurst Clay"	augmente	Transgression du Valanginien
	"Ashdown Beds"	diminue	Régression du Berriasien

Fig. 4.- Equivalences probables des mégacyclothèmes du Weald avec les transgressions dans le Bassin de Paris.

Fig. 4.- Possible correlation of Wealden megacyclothems with transgressions in the Paris Basin (After P. Allen, 1959).

2- Milieu de dépôt; scénario.

a- Généralités.

Après le remplissage au Crétacé basal (Berriasien inférieur), du bassin du Weald par des sables et des argiles en milieu marin proximal ("Cinder Bed"), les salinités ont baissé considérablement, fluctuant entre des eaux douces et des eaux salines pendant la plus grande partie des temps pré-Aptien. Les salinités les plus basses correspondent aux formations arénacées et les plus élevées aux formations argileuses, (Allen *et al*, 1973). Ce changement avait été interprété en terme de dualité "environnement deltaïque / environnement laguno-marin confiné", (Allen P., 1975). Ce modèle a été révisé et Allen (1981) préfère la dualité "plaine d'épandage / système baie - lagon - lac".

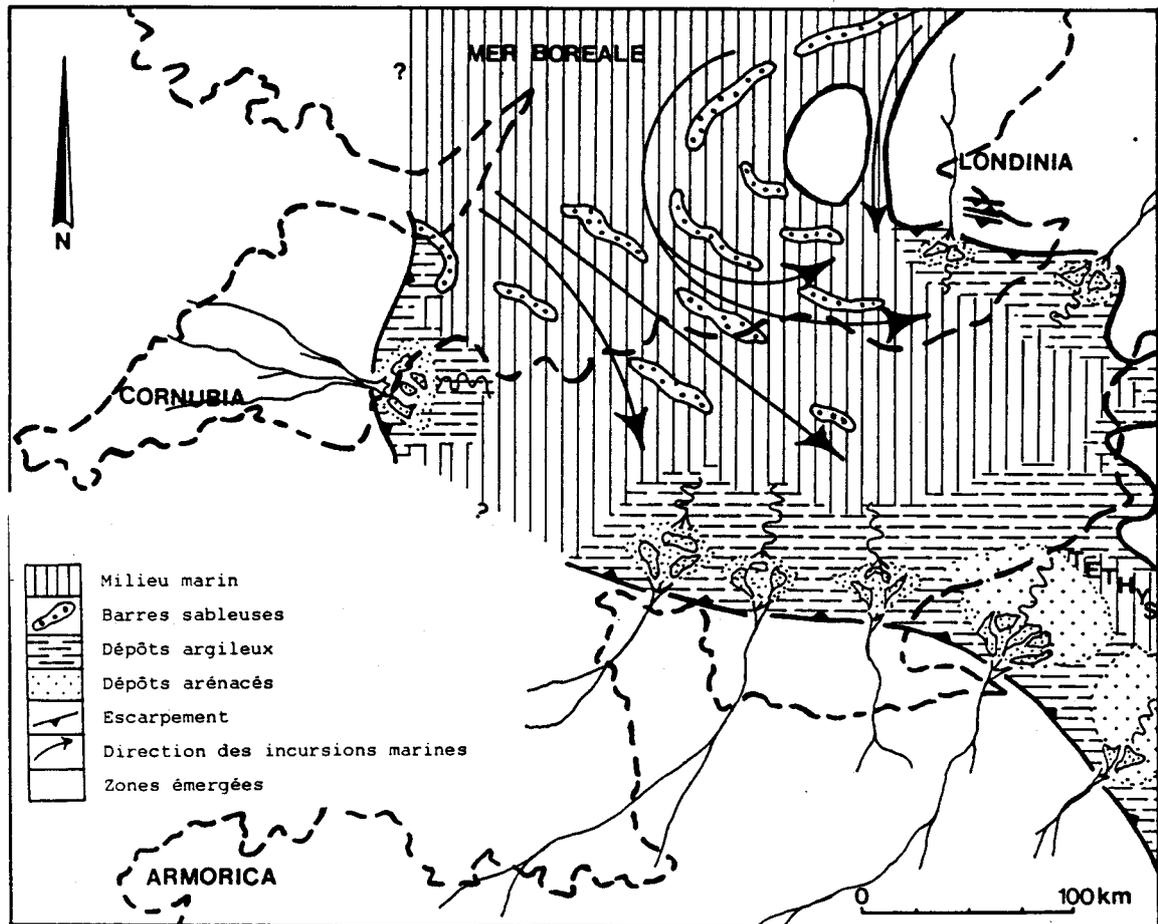
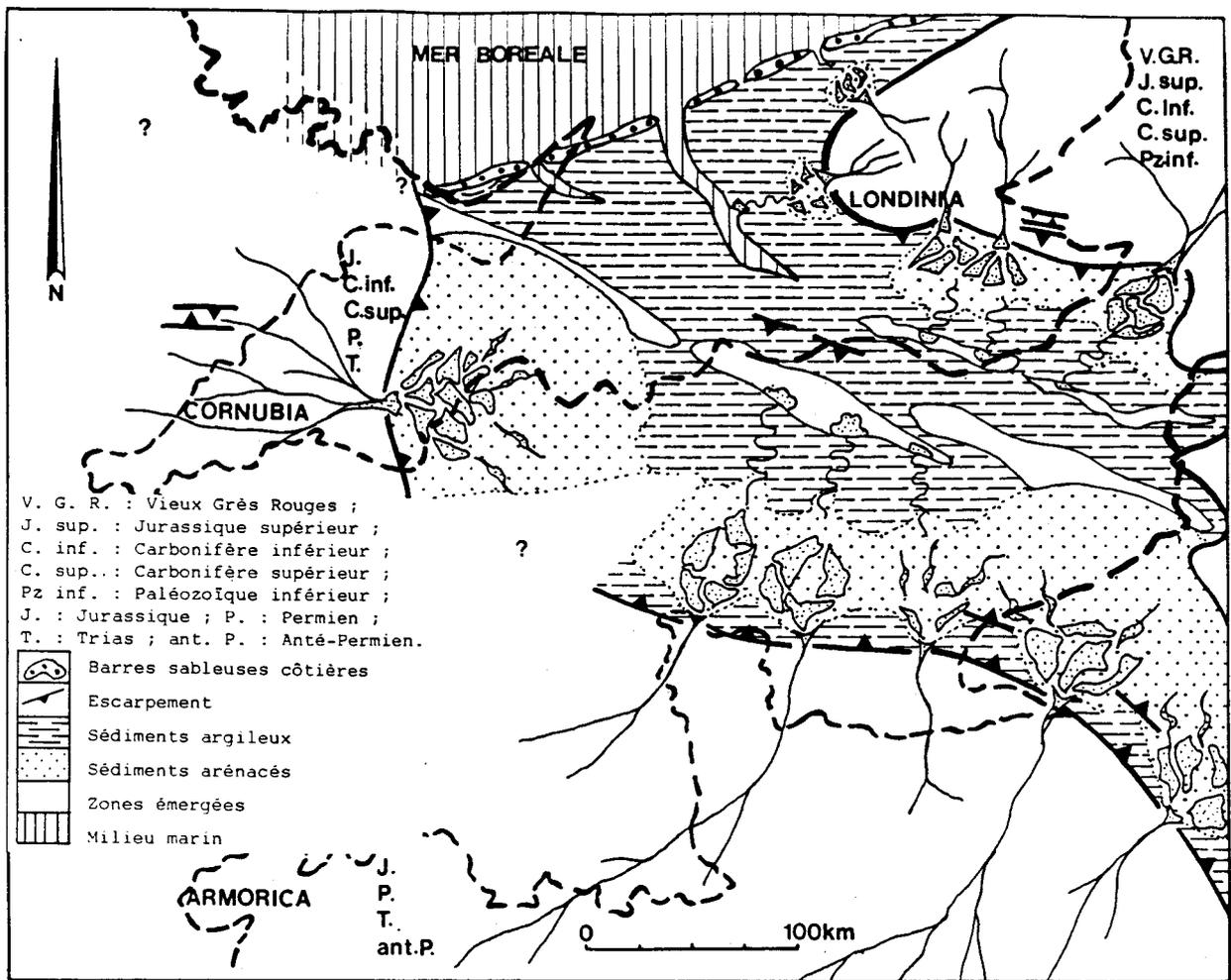
Plusieurs facteurs sont évoqués pour expliquer les variations de lithofaciès (Allen, 1981) : la tectonique, les fluctuations du niveau marin, les apports d'eau douce. Autant l'action de

Fig. 5.- Distribution et tailles arbitraires des cônes de déjection.
(Modifié ; in P. Allen, 1981).

Fig. 5.- Model for arenaceous formations in S-England. Arbitrary distribution of fan types and dimensions. (Modified ; in P. Allen, 1981).

Fig. 6.- Modèle pour le dépôt des formations argileuses dans le Sud de l'Angleterre. (Modifié ; in P. Allen, 1981).

Fig. 6.- Model for argillaceous formations in S-England. (Modified ; in P. Allen, 1981)



chacun d'eux et les conséquences peuvent être correctement appréciées, autant la part de chacun des facteurs est difficile à évaluer. Schématiquement, il est possible d'envisager les scénarios suivants de dépôts des formations arénacées et argileuses.

b- Modalités de dépôts des formations wealdiennes.

Dans le modèle (fig. 5 et 6) présenté pour le Sud de l'Angleterre, (Allen, 1981), le bassin wealdien est bordé par des massifs pourvoyeurs actifs tectoniquement découpés par des demi-horsts à grabens étroits (Owens, 1971; Hutchins, 1963) et des failles en escalier descendant vers le bassin.

Les affleurements sont constitués essentiellement par des roches sédimentaires :

- la "Londinia" présente les Vieux Grès Rouges (V.G.R.), le Carbonifère inférieur (C. inf.) et le Jurassique supérieur (J. sup.);
- la "Cornubia", le Jurassique, le Carbonifère inférieur (C. inf.) et supérieur (C. sup.), le Permien (P.) et le Trias (T.);
- l'"Armorica", l'anté-Permien, le Permien, le Trias et le Jurassique (avec des roches ignées et pyroclastiques du Jurassique moyen).

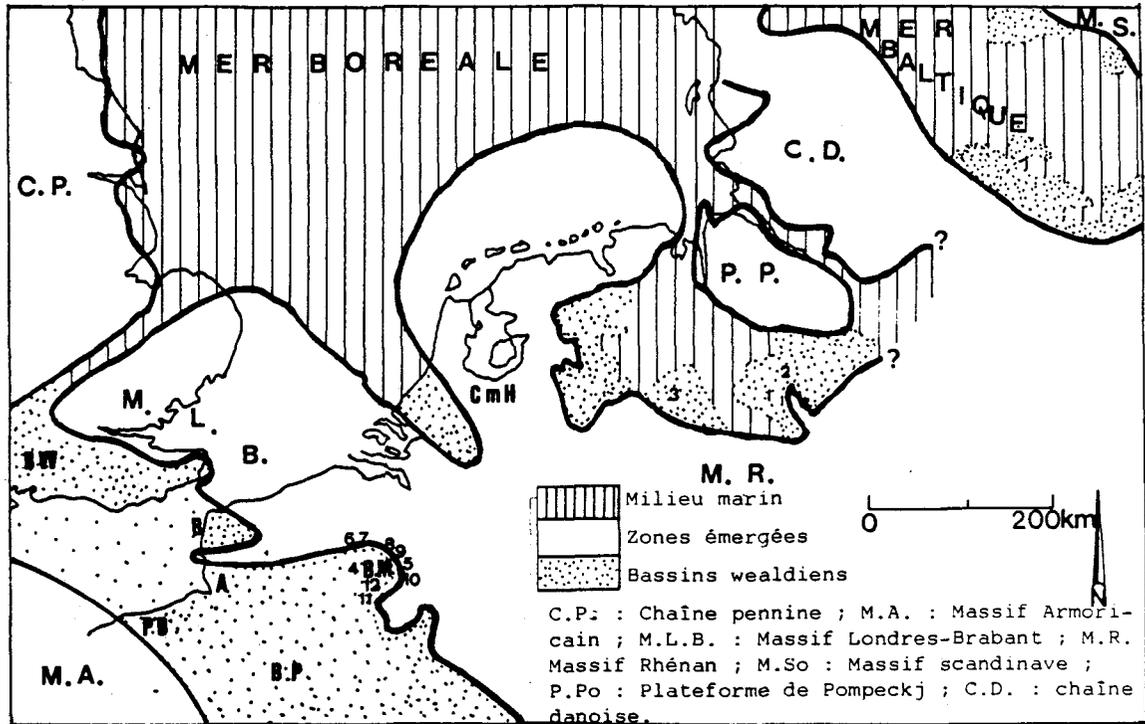
Un volcanisme contemporain et une minéralisation associée affectent la "Cornubia" et probablement l'Ouest du Bassin de la Manche.

Les formations arénacées résulteraient (Allen, 1981), (fig. 5) d'un rajeunissement des "massifs sources" sous un climat à alternances de saisons très humides et de saisons sèches courtes. Leur dépôt se serait fait dans un environnement d'eau douce constitué de cônes de déjection, de lacs migrants et de bassins d'inondation. Au contraire, les formations argileuses (fig. 6) correspondraient à un affaiblissement du relief et à un climat plus sec.

Corrélativement à ces phénomènes, la salinité sensiblement plus élevée du milieu correspondant au dépôt des formations argileuses serait contrôlée par l'efficacité de la protection côtière contre les assauts de la mer Boréale dans la Trouée Londinia - Cornubia. Pendant les phases arénacées, (fig. 5), la plaine alluviale est bien protégée, aidée par les importantes arrivées d'eau douce des massifs élevés. Pendant les phases lac - lagon - baie, (fig. 6), les cassures dans la barrière côtière sont aggravées par la réduction des arrivées d'eau douce des massifs émergés. Un contrôle tectonique commun des barrières côtières et des reliefs montagneux est indiqué. La phase finale des argiles de l'Hauterivien - Barrémien enregistre de plus sérieuses brèches qu'auparavant. Les bancs sableux de composition mixte (marine et alluviale) envahissent les sous-bassins vaseux; des influences littorales apparaissent et la salinité atteint des taux jamais rencontrés depuis la base du Crétacé.

II- LE WEALDIEN EN EUROPE DU NORD-OUEST.

Le wealdien en Angleterre recouvre presque entièrement l'intervalle de temps Berriasien - Barrémien (Allen P, 1955). Mais lors de corrélations entre différents bassins mésozoïques d'Europe du Nord-Ouest, de sérieuses difficultés apparaissent en raison, non seulement, de zonations paléontologiques incomplètes mais du fait, surtout, que le wealdien est "non fossilifère."



Localités et secteurs cités : 1 : Deister ; 2 : Hanovre ; 3 : Adorf-Qsnabrück ; 4 : Bernissart ; 5 : La Louvière ; 6 : Tournai ; 7 : Maffle ; 8 : Soignies ; 9 : Ecaussinnes ; 10 : Maurage ; 11 : Pommeroeul ; 12 : Hautrage.
 B : Boulonnais ; A : Artois ; B.P. : Bassin de Paris ; P.B. : Pays de Bray ;
 C.m.H. : Chaîne médio Hollandaise ; B.M. Bassin de Mons ; B.W. : Bassin du Weald.

Fig. 7.- Europe du Nord-Ouest. Extension du faciès wealdien (in Allen P., 1967 et Ziegler P.A., 1978, modifié).

Fig. 7.- North-Europe. Extent of inferred and present wealden facies.

Hors d'Angleterre, des formations "crétacées" à faciès wealdien ont été reconnues en Allemagne, aux Pays-Bas, en Belgique et en France notamment; (fig. 7). Ces formations correspondent à un milieu de transition entre les terres émergées (Massif Armoricaïn (MA), Massif Londres - Brabant (MLB), "Chaîne" Pennine (CP), Massif Rhénan (MR), Plateforme de Pompeckj (PP), "Chaîne" Danoise (CD), Massif Scandinave (MS), et les mers Boréale, Baltique.

A- Allemagne du Nord et Est des Pays-Bas; (fig. 7 et 8).

Plus de 500 m de formation argilo-sableuse sont en corrélation avec le Wealdien anglais (Seitz, 1949; Wolburg, 1954; Allen, 1955). Le faciès wealdien germanique repose sur des roches d'âges différents. Schmidt et Wolburg (1949) ont donné, à partir d'une faune d'Ostracodes, un "âge" Purbeckien moyen soit Jurassique terminal (fig. 8).

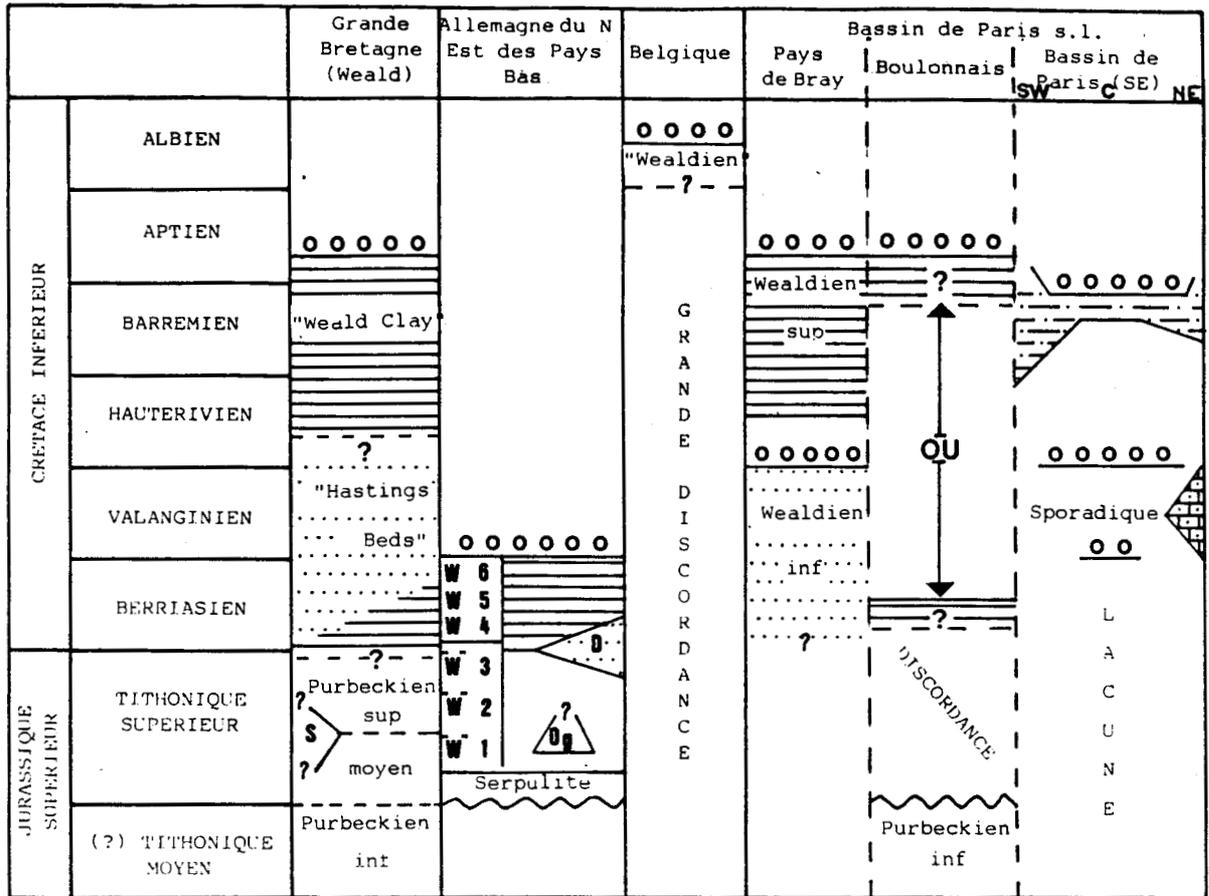


Fig. 8.- Proposition de corrélations entre le Wealdien du Weald et le faciès wealdien en Europe du Nord-Ouest (Allen P., 1955).

Fig. 8.- Proposed correlation of true Wealden and of Wealden facies in north-western Europe (Allen P., 1955).

Six zones majeures ont été reconnues (Wicher, 1940; Wolburg, 1949b, 1950; Grehoff, 1953) désignées wealdien 1 à Wealdien 6, du bas vers le haut :

- zones 1 à 5, milieu non marin; argiles à *Unio* et *Viviparus* (Allen, 1967); et grès à *Equisetites*;
- zones 6, milieu saumâtre, ou zone à *Ostracodes* (Wolburg, 1949, 1959).

La zone 1 est attribuée au Purbeckien moyen, les zones 2 et 3 au Purbeckien supérieur (fig. 8). La limite Purbeckien - Wealdien est située entre les zones 3 et 4 pour Allen (1965) ou au sein de la partie supérieure de la zone 3 pour Wolburg (1950).

Il faut penser que si cela est valable à l'est, Hanovre (fig. 7), il n'en est pas de même à l'ouest, Adorf - Osnabrück (fig. 7), où les sables sont plus précoces (Wealdien 1).

En l'état actuel des connaissances W1 à W3 sont mal nommés puisqu'ils appartiendraient au Purbeckien.

Le régime wealdien du bassin germanique est interrompu plus précocément par des venues marines que dans le bassin anglais puisque les fossiles marins valanginiens marquent le sommet de W6 (Allen, 1955), le passage régime continental - régime marin est progressif puisque le Wealdien 6 est de type saumâtre. Le Wealdien germanique est donc essentiellement infra-Valanginien (Allen, 1955).

B- OUEST DES PAYS-BAS; (fig. 7 et 8).

Environ 1000 m d'argiles et de sables d'affinité "Hastings Beds" sont "coincés" dans la gouttière limitée par le Massif Londres - Brabant et à l'Est par la Chaîne médiane hollandaise¹ (Haanstra, 1963). Le faciès détritique est surmonté par des "bancs de transition" d'affinité incertaine (Allen, 1967). Les couches s'amenuisent rapidement vers le Nord-Ouest. Le Wealdien occidental des Pays-Bas consiste en argiles bigarrées silteuses non fossilifères, en sables blanchâtres et sables ferrugineux. Il correspond à des dépôts fluvio-deltaïques à l'Est évoluant progressivement à des dépôts paraliques à l'Ouest, (Haanstra, 1963).

L'âge le plus précis de ces dépôts est post-Oxfordien supérieur - pré-Valanginien inférieur, (Sung, 1955; Visser et Sung, 1956; Bunk *et al*, 1956; Haanstra, 1963). La partie inférieure est manifestement Kimméridgien - Portlandien (Allen, 1967). La limite supérieure peut être éventuellement abaissée d'après la microflore (Jongmans et Dijkstra, 1951) mais le sommet ne peut en aucune manière être anté-Ryazanien (Allen, 1967).

C- BELGIQUE (fig. 7 et 8).

En Belgique, les formations attribuées au faciès wealdien affleurent sur le flanc Nord du Bassin de Mons, de Bernissart à La Louvière (fig. 7), (Marlière, 1933, 1934, 1946, 1954; Stevens et Marlière, 1944). Le Wealdien entaille le substrat carbonifère sous forme de trois terminaisons de vallées s'ouvrant vers le Sud, (Marlière, 1946). En terme de bassin, il est situé dans un étroit synclinal orienté WSW - ENE et pourrait correspondre au reliquat sédimentaire d'un bassin soit isolé des bassins Néerlandais et Parisien soit d'une connection des deux précédents, via le Sud-Brabant (Allen, 1967).

Le problème n'est pas résolu car à l'Ouest il consiste en argiles et sables en poches (Cornet, 1977; Marlière, 1934) dispersées sur plusieurs kilomètres, ainsi au NW (Tournai), au N (Maffle, Soignies, Ecausines, ...), à l'E et au S (Maurage, Pommeroeul), (fig. 7).

Les sédiments, atteignant parfois plus de 100 m d'épaisseur (140 m à Hautrage), (fig. 7), comprennent des argiles réfractaires et de minces niveaux sableux, parfois lenticulaires, avec ou non des structures entrecroisées. Les restes fossiles sont rares. La faune est typiquement wealdienne, non-marine (Stamp *et al*, 1922; Cornet, 1927; Marlière, 1934; Delcourt et Sprumont, 1955, 1957; Delcourt, Dettman et Hughes, 1963). Des formes typiques du Sussex ont été rencontrées telles que : *Neomodion*, *Unio*, *Viviparus*; des Ostracodes, des poissons, des tortues, des crocodiles (*Goniopholis*).

¹ "Chaîne formée" lors de la phase Cimmérienne tardive (Haanstra, 1963; Burger, 1966).

L'âge et le mode de dépôt sont difficiles à établir; il semblerait que le Wealdien belge soit plus tardif que partout ailleurs (Allen, 1955). Les dépôts de Bernissart sont attribués à un âge anté-Albien moyen (Marlière, 1934). Les travaux de Delcourt *et al* (1963) renforcent l'idée d'un âge Crétacé basal (Durlston - Hastings Beds ?), (fig. 8).

III- LE WEALDIEN EN FRANCE : BASSIN DE PARIS.

A- Le faciès wealdien dans le Bassin de Paris.

1- Généralités.

L'exondation fini-jurassique du Bassin de Paris a laissé celui-ci essentiellement continental pendant une période de temps variable entre le centre du Bassin et la périphérie. Cette émergence a débuté localement pendant le Portlandien (faciès purbeckien) et s'est maintenue, selon les secteurs, jusqu'au Barrémien et même, parfois, jusqu'à l'Aptien. C'est ainsi que l'épisode continental du Bassin de Paris est estimé à 50 M.A. sur les bordures et à 20 M.A. au centre du Bassin. Les relations exactes entre les dépôts purbeckiens et wealdiens sont mal connues. Dans une grande partie du centre du Bassin, là où les phénomènes de subsidence sont les plus actifs (à l'Est de Paris, dans la Brie) il a pu y avoir, dans une certaine mesure, continuité entre la sédimentation continentale du Jurassique terminal et celle du Crétacé inférieur. La distinction fondamentale entre les deux formations repose sur la différence des deux faciès. Ainsi le faciès purbeckien est essentiellement carbonaté avec des calcaires marneux, lagunaires ou lacustres présentant fréquemment des traces de karstifications tandis que le faciès wealdien est constitué d'argiles et de sables. Ce changement de nature de la sédimentation dépend probablement des déformations qui ont modifié la paléogéographie donc, sans doute des reliefs et de leur érosion à la limite Jurassique - Crétacé lors des phases cimmériennes tardives, (Ziegler, 1978).

2- Extension du faciès wealdien

Le Crétacé inférieur est représenté inégalement dans le Bassin de Paris du Valanginien à l'Albien. Le Berriasien n'a pas été reconnu dans ce secteur (Megnier, 1980), où la première transgression marine, par la mer Alpine à partir du seuil Morvano - Vosgien (SE), est daté du Valanginien probablement inférieur. Cependant le Berriasien, le Valanginien, l'Hauterivien et le Barrémien sont représentés, plus ou moins complètement d'ailleurs (fig. 9 et 10), par les équivalents continentaux à faciès wealdien. Le faciès wealdien est connu (fig. 9 et 10) à l'affleurement principalement dans le Pays de Bray, le Boulonnais et sur la bordure ardennaise; en forage, il a été fréquemment traversé dans un secteur qui prend le Bassin de Paris en écharpe NW-SE limité à l'Ouest par une ligne Evreux - Chartres et à l'Est, Amiens - Reims. Entre le Boulonnais et l'Ardenne, des travaux divers (forages d'eau, fondations, terrassement) ont localement "intercepté" des dépôts assimilés au faciès wealdien.

Des termes volontairement vagues, tels que "assimilés" sont abondants dans la littérature traitant du faciès wealdien puisque la grande variabilité de l'épaisseur et de la nature des dépôts continentaux et leur caractère azoïque sous la transgression albo-cénomaniennne demeure encore un critère d'identification du faciès.

3- Le faciès wealdien à l'affleurement.

a- Dans le Pays de Bray.

Le faciès wealdien du Pays de Bray est représenté par des sables et des argiles dont l'épaisseur, maximum de 50 m, augmente du NW vers le SE. Le Crétacé basal, dans ce secteur, est

post-portlandien (Abrard, 1937) (Lapparent, 1879; Dolfus et Fortin; Thomas; Lemoine, 1907) et anté-Aptien (Allen, 1955) avec les argiles panachées au sommet ou bigarrées rattachées à un Barrémien continental, indifférencié (Megnien, 1980). Deux ensembles relativement permanents ont été distingués : un "Wealdien inférieur" (fig. 8), (Allen, 1955) ou membre inférieur et un "Wealdien supérieur" (fig. 8), (Allen, 1955) ou membre supérieur. Ceux-ci sont particulièrement bien visibles (Megnien, 1980) sur une coupe de la carrière de Grumesnil, sur la bordure NE de l'anticlinal (feuille de Forges-les-Eaux à 1 / 50.000, X = 551.100, Y = 213.700).

Le terme inférieur (arénacé) est d'âge "Hastings Sands" (post-Portlandien - pré-Hauterivien) et le terme supérieur (argileux) d'âge "Weald Clay" (post-Hauterivien (? inférieur) - pré-Aptien). Cette succession est interrompue par un banc fossilifère marin (Lapparent, 1879; Dolfus et Fortin; Thomas; Lemoine, 1907) ayant fourni une faune similaire à celle qui accompagne le calcaire à *Spatangues* de la région de l'Aube, d'âge Hauterivien.

b- Dans le Boulonnais.

Les formations assimilées au faciès wealdien dans le Boulonnais se présentent soit en affleurements discontinus (ceinture crétacée de la boutonnière du Boulonnais, le long du littoral et à l'embouchure de la Slack (Dutertre, 1923)) soit enfouies dans des poches karstiques. L'épaisseur maximum est de 20 m. Il est discordant sur différentes formations. Ainsi, près de Hardingham il repose sur du Carbonifère, du Dévonien et du Purbeckien (Allen, 1955); au Sud de Ferques, sur du Jurassique, du Bathonien au Purbeckien inférieur (Allen, 1967); ailleurs sur du Paléozoïque, du Malm supérieur (Pinchemel, 1954; Bonte, 1965a, 1969). Dans le secteur de Wimille (Allen, 1967), le faciès wealdien repose sur un grès calcaire correspondant au lessivage du grès calcaire du Portlandien à *Trigonia gibbosa*. Le sommet étant parallélisé avec les "Hastings Beds" du Weald. Ceci lui conférerai un âge Berriasien - Valanginien (fig. 2 et 8). En raison de la rareté des fossiles, une datation précise est difficile et Megnien (1980) propose un intervalle de temps Berriasien - Barrémien inférieur pour le dépôt de la formation wealdienne du Boulonnais. Hengreen (1971) à partir de l'étude de la microflore dans la "Carrière de Longueville", près de Nabringhem, suggère, au plus, un âge Barrémien supérieur ou Aptien inférieur.

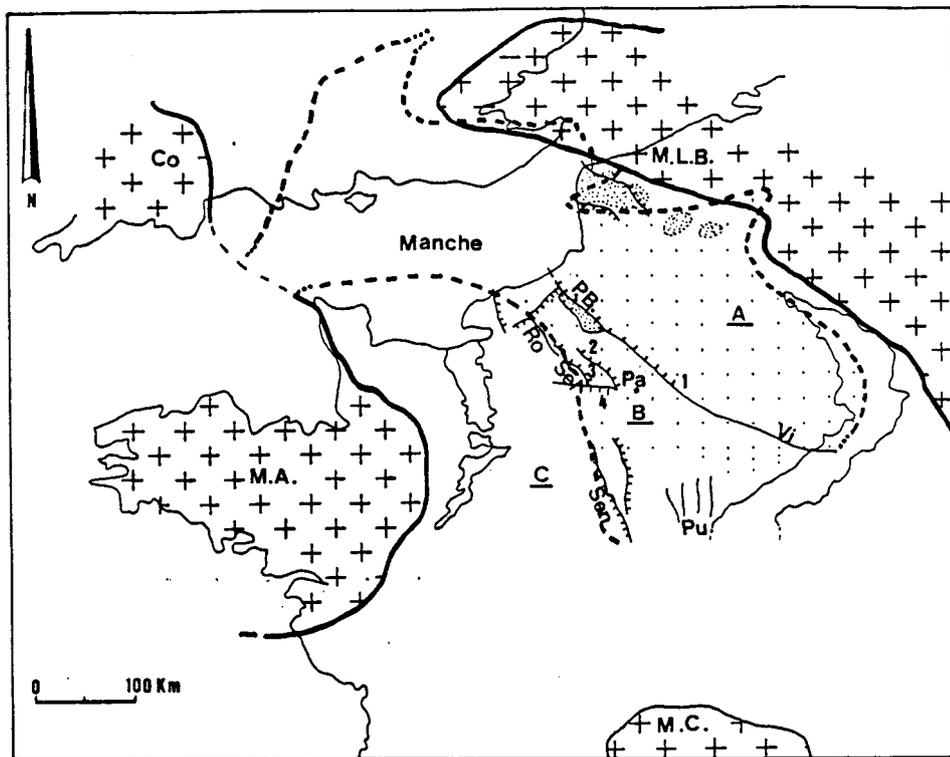


Fig. 9.- Cadre paléogéographique du Bassin et extension du faciès wealdien, au Crétacé inférieur.

Co : Cornouailles ; M.L.B. : Massif Londres-Brabant ; M.C. : Massif Central ; M.A. : Massif Armoricain.

Failles - Ro : Rouen ; Se : Seine ; Sen : Sennely ; P.B. : Pays de Bray ; Vi : Vittel ; Pu : Puisaye.

Localités - 1 : Rebais ; 2 : Vexin ; 3 : Beynes ; 4 : Saint Illiers ; Pa : Paris.

	Affleurements de Wealdien
	Extension du faciès wealdien
	Limites de l'aire continentale Weald - Bassin de Paris

Fig. 9.- Paleogeographical frame of the Paris Basin and extention of the Wealden facies during Lower Cretaceous.

Faults - Ro : Rouen ; Se : Seine ; Sen : Sennely ; P.B. : Pays de Bray ; Vi : Vittel ; Pu : Puisaye.

Localities - 1 : Rebais ; 2 : Vexin ; 3 : Beynes ; 4 : Saint Illiers ; Pa : Paris.

	Outcrops of Wealden
	Extension of the wealden facies
	Limits of the continental area Weald - Paris Basin

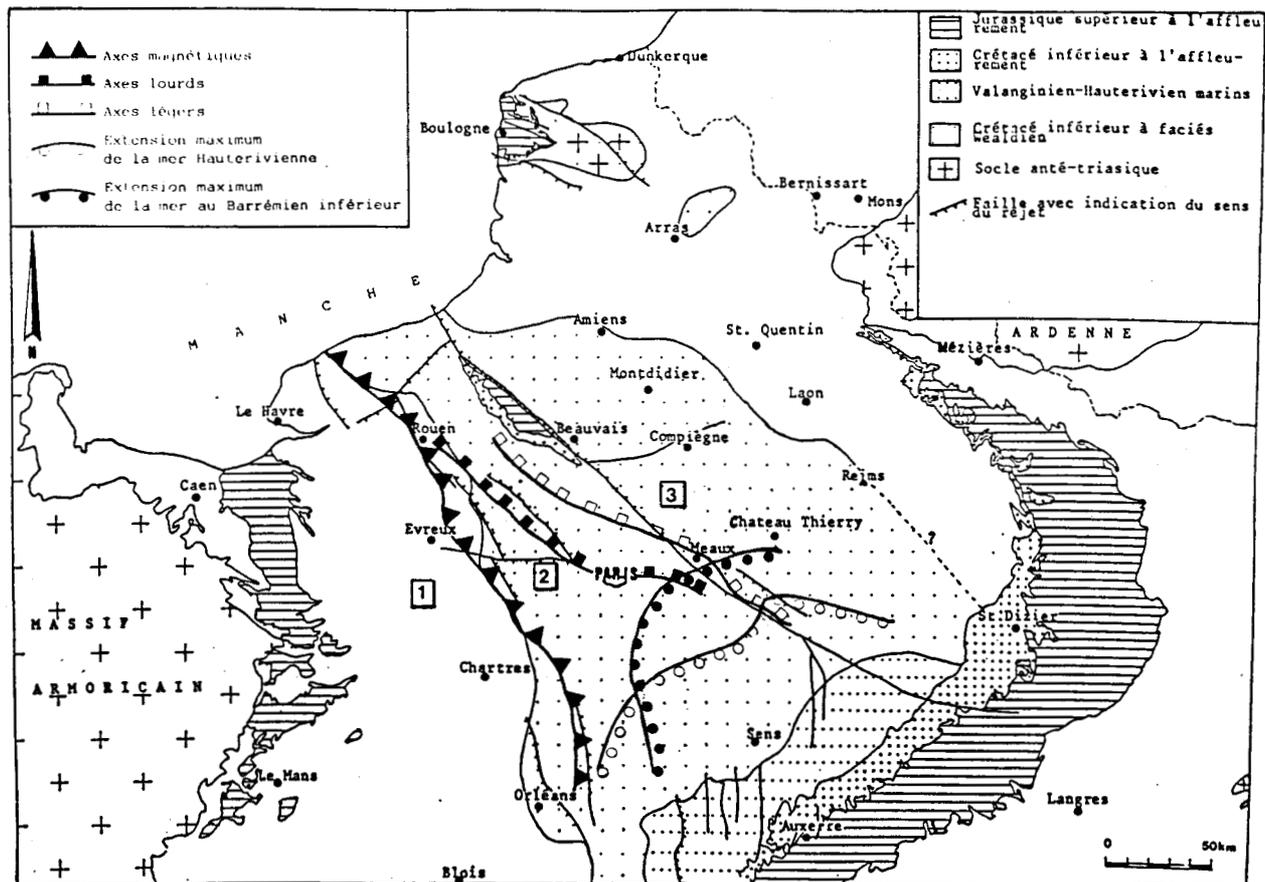


Fig. 10.- Bassin de Paris ; cadre structural. Extension des faciès marins au Crétacé inférieur (Megnier, 1971 ; Gerard, 1971 ; Lorenz, 1980).

Fig. 10.- Paris Basin ; general structure. Extension of marine facies during Lower Cretaceous (Megnier, 1971 ; Gerard, 1971 ; Lorenz, 1980).

c- Bordure occidentale de l'Ardenne.

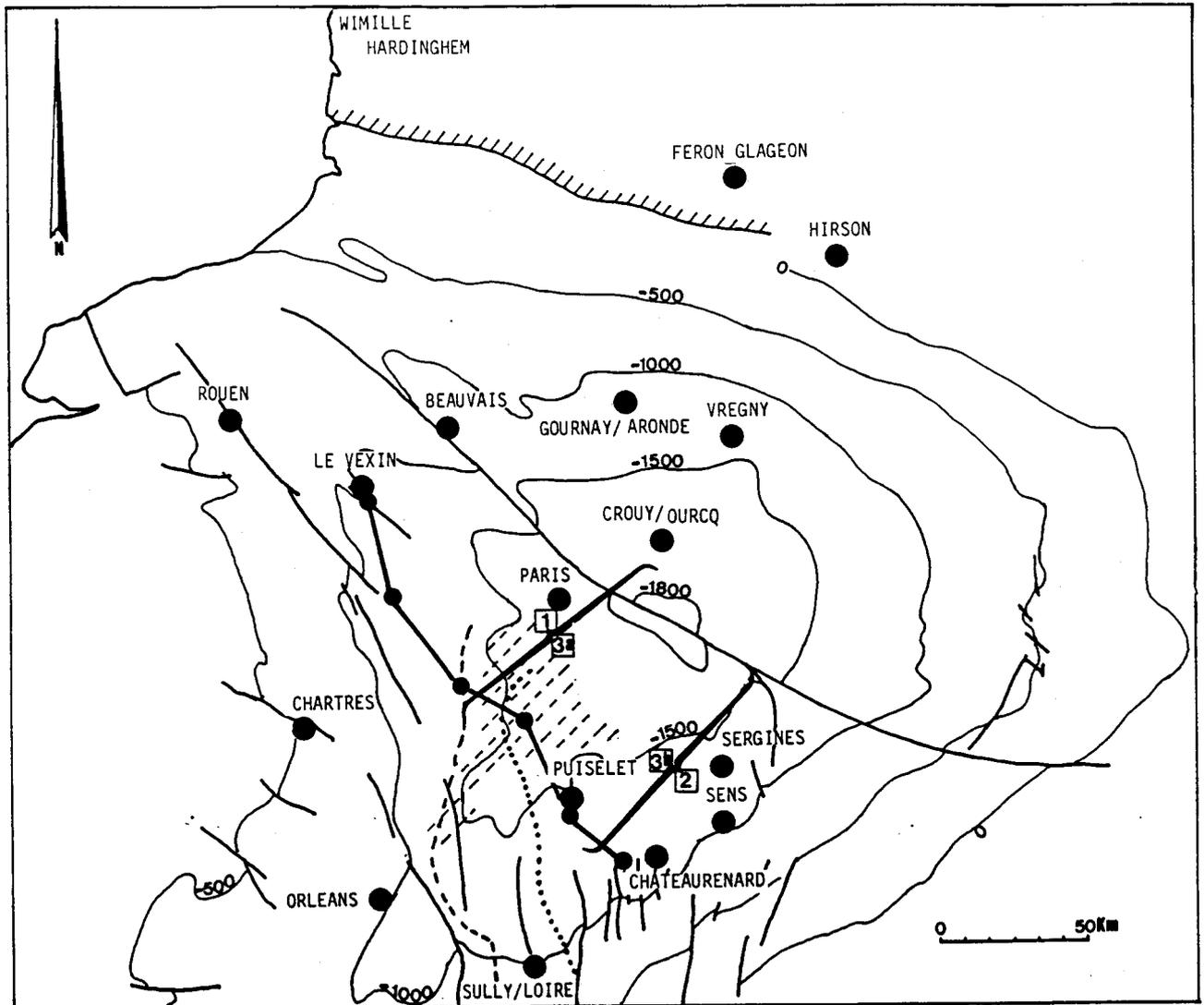
Le faciès wealdien de la bordure occidentale de l'Ardenne n'excède que rarement 20 m d'épaisseur. Il se présente parfois sous forme d'épandages de 5 m maximum (Waterlot, Beugnies, Godfriaux, 1967; Waterlot B., Waterlot G., 1969), de remplissage de poches karstiques, de puits naturels dans le Bathonien, ainsi à Hirson, Sedan (Bonte, 1941), dans le dévonien à Féron-Glaçon (Carpentier, 1927), dans des poches près de Givet (Leriche, 1928).

Localement des chenaux semblent possibles. (Dans la région angevine et poitevine, les formations infra-cénomaniennes sont considérées comme "wealdiennes", (Estéoule, Estéoule - Choux et Louail, 1969)).

Par sa position structurale, le "wealdien" post-Bathonien est anté-Albien inférieur; les horizons non stériles contiennent une microflore d'affinité "Hastings Beds", (Carpentier, 1927). La

réalisation de forages et l'étude d'affleurement plus méridionaux ont abaissé la limite supérieure à un âge pré-Aptien, au moins (Malhieu, 1963). Levet-Carette (1966) propose un âge Crétacé inférieur pour l'Avesnois. Le faciès wealdien est proche de celui de la Belgique.

4- Le faciès wealdien dans la région centrale du Bassin de Paris.



-  Extension extrême de la mer hauterivienne
 -  Extension extrême de la mer barrémienne
 -  Tracé de la coupe SE-NW de la figure 13
 -  Zone wealdienne
 -  Zone marno-calcaire
 -  Zone intermédiaire
 -  Sous-zone Nord
 -  Sous-zone Sud
 -  Epaisseur maximum des "Sables de Griselles"
 -  Isobathe au toit du Dogger
 -  Faille
- (D'après Héritier et Villemin, modifié)

Fig. 11.- Zonation du Néocomien-Wealdien du Bassin de Paris selon le faciès. Localités citées et secteurs (en encadrés) étudiés dans ce travail.

Fig. 11.- Zonation of the "Wealden" in the Paris basin according to the lithofacies. Mentioned localities and studied areas (enclosed).

a- Généralités - introduction.

Dans la région centrale du Bassin Parisien, le faciès wealdien est essentiellement connu par forage. Dans ce secteur les épaisseurs reconnues n'excèdent jamais 200 m (Tilloy et Dardene, 1960) pour la région centrale; en outre, éventuellement continentaux au Nord, les horizons détritiques oscillent entre des faciès lagunaires, continentaux et des faciès épisodiquement marins, au Sud et au Sud-Ouest. De plus, en de nombreux endroits, la transgression albo-cénomaniennne recouvre des sédiments argilo-ligniteux qui, mal datés, ont été attribués au "Wealdien", (Klein, 1974).

b- Stratotype du Crétacé inférieur reconnu par forage.

L'établissement d'un stratotype du Néocomien a été effectué par Mathieu (1963) à partir des carottes de forage réalisées par la CEP dans la région de Châteaurenard (fig. 11). Dans le champ pétrolier qui s'est développé, un échantillonnage serré a permis une bonne connaissance du Néocomien.

Dans la série stratigraphique (environ 60 m), depuis le Jurassique supérieur jusqu'à la base des argiles bariolées, six faciès à microfaune et signature électrique propres ont été distinguées et corrélées (fig. 12) avec les termes utilisés pour décrire les formations marines de Crétacé inférieur qui affleurent dans une région Sud - Sud-Est du Bassin de Paris (départements du Cher, de la Nièvre, de l'Yonne, de l'Aube, de la Haute Marne et de la Meuse).

Etages	Zones C. E. P.	Nomenclature C. E. P.	Equivalents à l'affleurement (Secteur)	Milieu intensité marine
Barrémien inférieur	1	Zone Lumachellique	Zone à Miotoxaster ricordeaui	Argiles Ostréennes (Aube, Haute-Marne)
	2	Sables de Perthes	Zone à Astarte subformosa	
Hauterivien	3	Sables de Châteaurenard	Marnes argileuses jaunes de Cornuel (Haute-Marne)	
	4	Sables de Château-Landon	Calcaire à Spatangues ou à Toxaster retusus (Haute-Marne)	
	5	Grès de Puiset	Marne calcaire bleue (Haute-Marne)	
Valanginien	6	Sables de Griselles	Calcaire de Bernouil ou Calcaire à Hyposalenia stellulata (Yonne, Aube)	

Fig. 12.- Tableau des équivalences. Zones CEP - Nomenclature CEP.
Equivalents à l'affleurement et les milieux de dépôts correspondants.

Fig. 12.- Table of the equivalents of the CEP areas - CEP designation.
Outcrops and the corresponding deposit environments.

Nord-Ouest

Fig. 13.- Coupe SE-NW de Châteaurenard à Le Vexin au niveau du Néocomien-Wealdien à partir de diagraphies électriques (Résistivité, Radioactivité Naturelle).

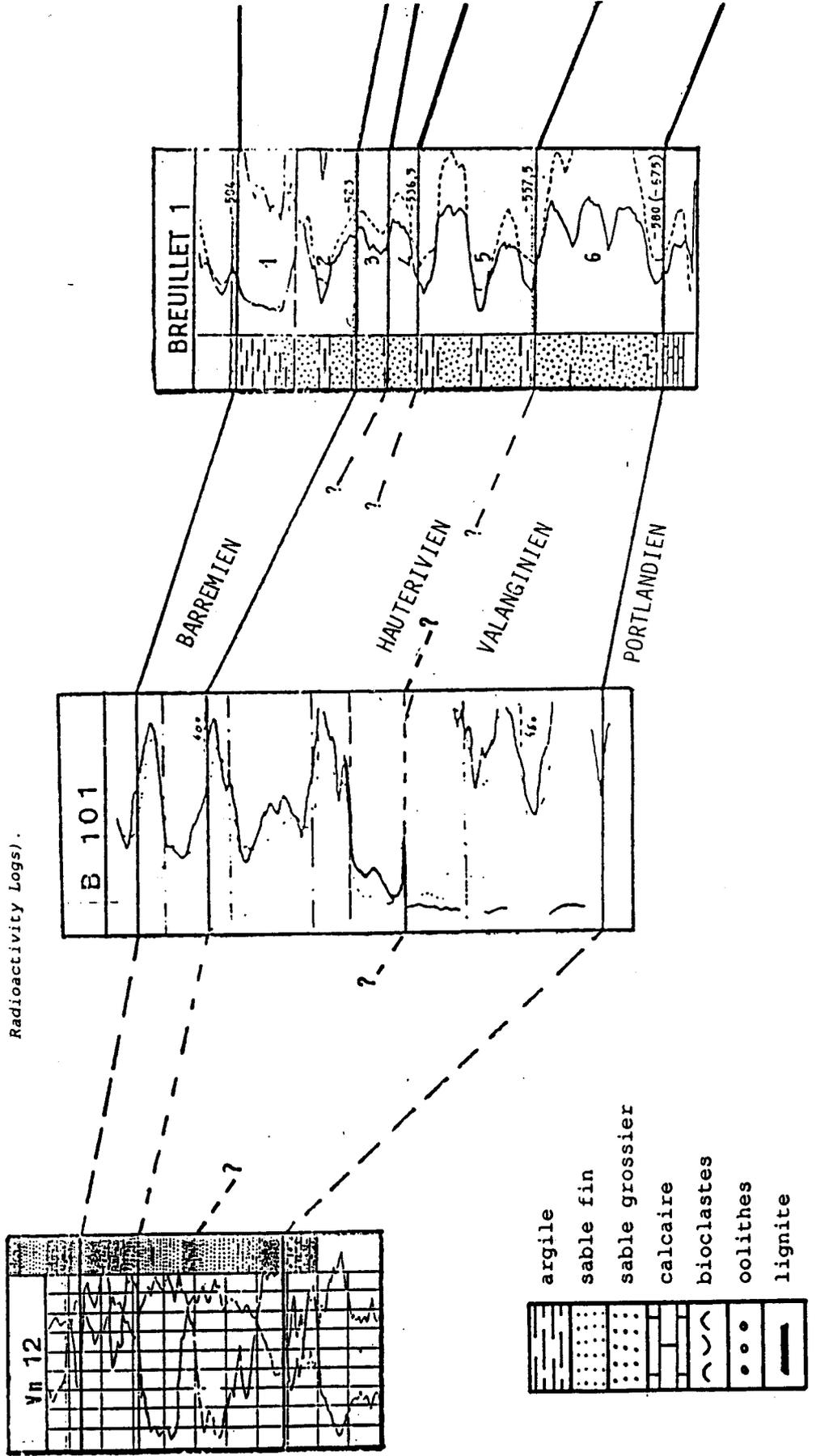
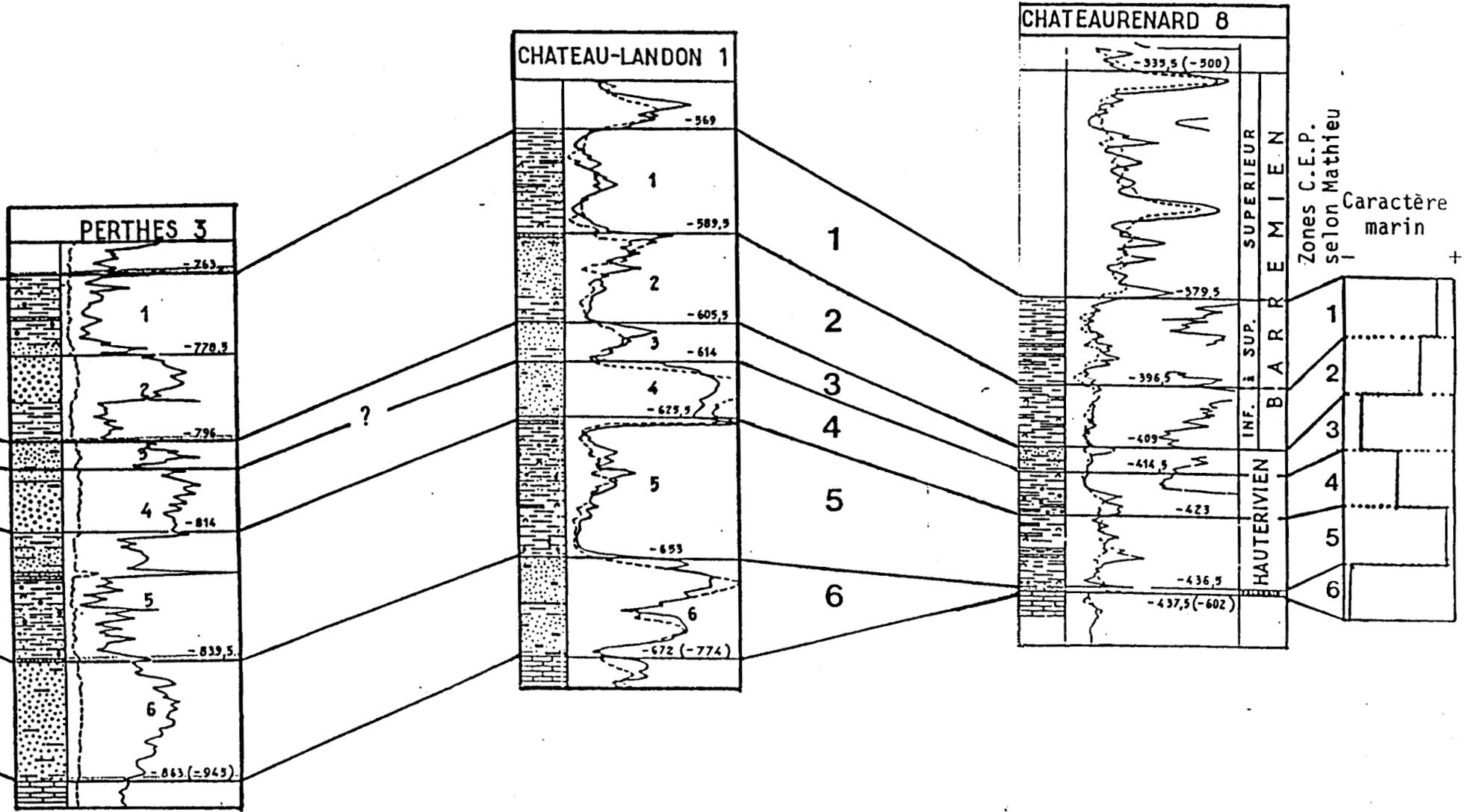


Fig. 13.- Cross-section from Châteaurenard to Le Vexin (SE-NW) of the Wealden facies, using electrical Logs (Resistivity, Natural Radioactivity Logs).

Sud-Est.



α- Les six zones du Néocomien à Châteaurenard (fig. 12 et 13).

Toutes les études ont montré que, à l'exception d'un niveau sableux basal, le crétacé inférieur (Néocomien) dans cette région, a un caractère franchement marin (Mathieu, 1963). La nomenclature utilisée par les pétroliers pour désigner les six zones, a été empruntée aux noms des forages les ayant mises en évidence (fig. 12 et 13) :

- la zone des "Sables de Griselles" ou "zone 6" représente le Valanginien continental : sables blancs à inclusions ligniteuses. Ils reposent sur le Jurassique dont ils semblent combler la topographie (faciès Purbeckien);

- la zone des "Grès de Puiset" ou "zone 5", correspond à l'envahissement du Bassin de Paris par la mer hauterivienne: grès fin, glauconieux, à niveaux argileux à huîtres et calcaires à oolithes ferrugineuses;

- la zone des "Sables de Château-Landon" ou "zone 4" représente une tendance régressive à l'Hauterivien supérieur basal: calcaire marneux, détritique, rognoneux;

- la zone des "Sables de Châteaurenard" ou "zone 3", indique pour l'Hauterivien supérieur terminal un littoral proche: sables fins à intercalations d'argile bariolée donnant un cachet continental;

- la zone des "Sables de Perthes" ou "zone 2", indique un retour à un régime plus marin au Barrémien inférieur: argile grise à Lamellibranches;
- la zone lumachellique ou "zone 1", marque l'apogée de la mer barrémienne: calcaires coquillers et lits de lumachelle emballés dans l'argile.

Les âges, les appellations de ces zones, leur correspondance avec les formations à l'affleurement et le milieu de sédimentation sont rassemblés sur la figure 12.

β- Evolution latérale SE-NW; (fig. 13).

L'évolution du Néocomien ainsi défini à Châteaurenard a été suivie par forages vers le centre du Bassin de Paris. D'une manière simplifiée il passe à l'Ouest et au Nord à des faciès littoraux (fig. 13) et à l'Est à des faciès marin plus francs, (Mégny, 1980). Cette évolution a été étudiée par Mathieu (1963) sur une coupe SE-NW que j'ai reprise (fig. 13) en la simplifiant et en la complétant vers le NW avec des forages réalisés par Gaz de France (B101 et Vn12), (fig. 13).

On observe (fig. 13 et 11) de Châteaurenard 8 à Vexin 12 en passant par Château-Landon 1, Perthes 3, Brouillet 1 et Beynes 101:

- une augmentation de l'épaisseur de toutes les zones (en particulier de la zone 6) vers le centre du Bassin là où la subsidence était la plus forte (secteur de Perthes) et une diminution, au-delà, vers le NW (Vn12);
- les différentes zones peuvent être suivies, sans trop de difficultés, de Châteaurenard à Perthes; au-delà et surtout au Nord de Brouillet 1, les corrélations sont plus délicates, voire impossibles;
- les Argiles Ostréennes représentent le niveau le plus aisé à suivre sur l'ensemble de la coupe, notamment la zone Lumachellique (zone 1) qui présente un faciès assez constant, par contre, il est de plus en plus difficile de reconnaître la zone 2 ou "Sables de Perthes" (Vn12 et B101);
- du SE vers le NW on assiste à une augmentation de la fréquence des passées détritiques plus grossières.

On passe ainsi, progressivement, d'un milieu marin à Châteaurenard 8 (Mathieu, 1980) à un environnement continental à B101 et Vn12.

Le secteur le plus complexe, où les influences continentales et marines sont, à la fois, bien marquées, est la région de Perthes 3.

La figure 14 montre une coupe schématique synthétique des passages de faciès du SE au NW dans le centre du Bassin, (Mégny, 1980).

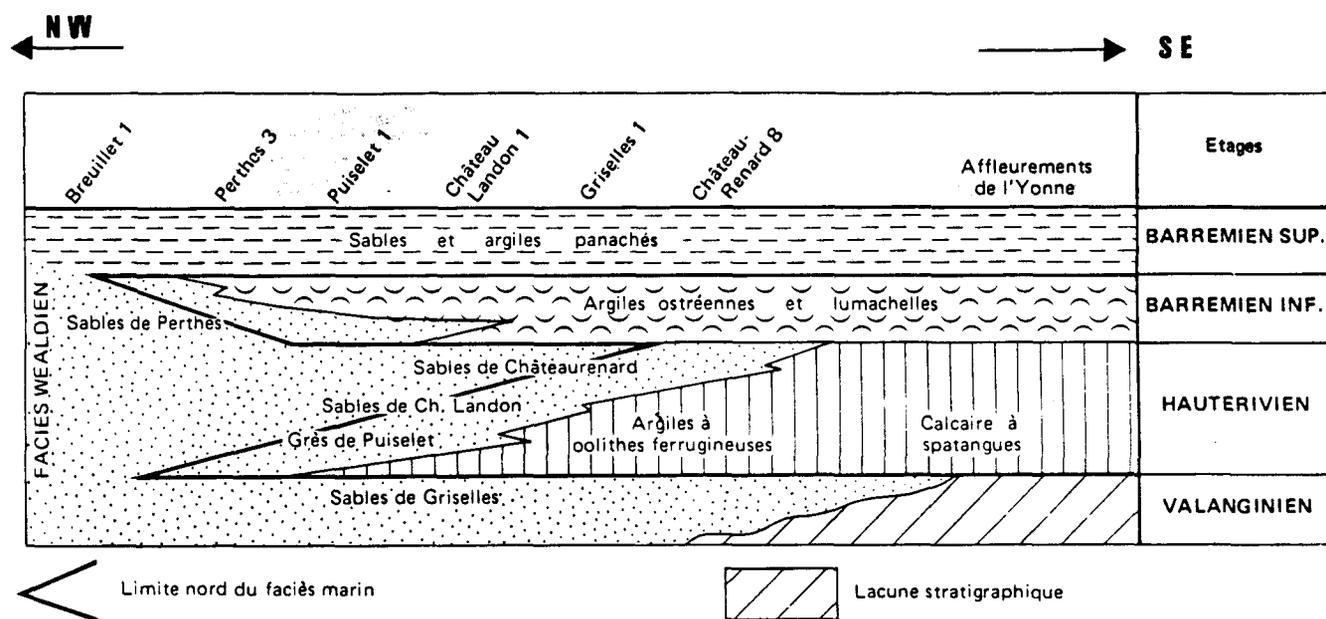


Fig. 14.- Coupe schématique des passages du Valanginien, de l'Hauterivien et du Barrémien depuis les affleurements de l'Yonne jusqu'au centre du bassin (C. Megnien et F. Megnien ; d'après Mathieu, 1963, modifié).

Fig. 14.- Schematic cross-section of the passages of Valanginian, Hauterivian and Barremian from outcrops of Yonne to the center of the basin (C. Megnien et F. Megnien ; from Mathieu, 1963, modified).

c- Synthèse.

Il est possible de distinguer trois zones de faciès pour le Néocomien-Wealdien du Bassin de Paris (Morizet, Pinel, Savoyat, 1974):

- une zone NNW / SSE, au Nord de Perthes (Morizet *et al*), au Nord de Breuillet (Megnien) à faciès wealdien dépourvu de passées marines (fig. 13, fig. 11). Il se présente sous forme de lentilles ou d'alternances minces argilo-sableuses à lignite fréquent, avec prédominance des sables; (puits VN12, B101, Breuillet 1);

- une zone S - SE, ou zone marno-calcaire (Morizet *et al*), située au Sud d'une ligne Sully-sur-Loire - Sergines où le Néocomien est marin. Les sables se biseautent rapidement vers le S et le SE pour laisser la place à un ensemble de marnes et de calcaires parfois gréseux; (puits Châteaurenard 8);

- une zone médiane, ou zone intermédiaire (Morizet *et al*) où s'effectue le passage des faciès marins aux faciès continentaux. C'est un secteur de sédimentation argilo-sableuse que l'on peut subdiviser en deux sous-zones en fonction de la distribution verticale des bancs argileux et sableux :

- la sous-zone Nord (puits Perthes 3), où l'influence marine se traduit par des marnes et des sables à débris coquillers et oolithes ferrugineuses; les bancs, minces, d'argile, d'argile sableuse, de sable alternent rapidement;

- la sous-zone Sud (puits Château-Landon 1) où la séparation est marquée entre les bancs sableux et argileux; la sous-zone est plus éloignée des apports terrigènes. La série type définie à Châteaurenard se retrouve encore aisément.

5- Conclusion.

Le faciès wealdien, dans le Bassin de Paris, se présente au Nord (Pays de Bray, Boulonnais, ...) en affleurements discontinus et de faible extension. Sa reconnaissance est basée sur son faciès et sur sa position stratigraphique :

- c'est un ensemble argilo-sableux et ligniteux, purement continental à rares passées marines locales.
- en intercalation entre le Jurassique supérieur et la transgression cénomaniennne.

Vers le Sud, en passant par le centre du bassin, la profondeur et l'épaisseur du faciès wealdien augmentent. Sa reconnaissance, par forage, est ponctuelle; sa continuité simple est supposée. Il se complique par des passées marines plus ou moins nombreuses et de plus en plus longues durées qui, par contre, facilitent les datations.

Néanmoins les corrélations entre le Nord (Pays de Bray, Boulonnais, ...) et le Sud (Châteaurenard, ...), (fig. 11) sont délicates car le passage d'une zone Nord à une zone Sud (fig. 11) se fait par une zone intermédiaire où s'affrontent les influences continentales et marines, ce qui lui confère des limites floues aux différents faciès.

Dans l'axe du Bassin, région méridionale où la densité de forages est assez importante, les limites des différentes zones sont relativement précises ainsi que celles des transgressions hauteriviennne et barrémiennne. Par contre, vers le Nord et vers l'Est, ces mêmes limites sont à mettre en pointillés

L'objet de ce travail permettra, en partie, de prolonger vers le Nord et vers l'Est (fig. 11) ces limites à partir de l'étude des secteurs suivants (cf carte générale) :

- Le Vexin, au Nord;
- Gournay-sur-Aronde au Nord-Est;
- Crouy-sur-Ourcq et Vregny vers l'Est.

B- Vue d'ensemble sur la tectonique.

Le Bassin de Paris est un bassin intracratonique, subcirculaire légèrement plus allongé dans la direction latitudinale (600 km) que dans la direction méridienne (550 km), (fig. 9). La cuvette qu'il constitue au Crétacé inférieur, s'appuie sur des massifs cristallins "anciens" :

- le Massif Armoricaïn à l'Ouest et sa jonction, au Sud, avec le Massif Central;
- le Massif Central au Sud;
- le Massif Londres - Brabant au Nord-Est.

La plus grande partie du bassin a été couverte par un maillage, parfois très serré, de profils de sismique réflexion et un nombre considérable de sondages y a été réalisé. Ceci a permis d'acquérir une bonne connaissance des problèmes tectoniques du Bassin de Paris. Le niveau le plus représentatif de la tectonique profonde du Bassin de Paris est le toit du Dogger (Heritier et Villemin, 1971), en effet (fig. 11) :

- c'est un horizon sismique bien marqué et souvent caractéristique;
- c'est un objectif des forages pétroliers qui a été atteint par de nombreux sondages;
- c'est un horizon reconnu cartographiquement sur la majeure partie du Bassin.

Tectoniquement, le Bassin de Paris est apparemment calme dans l'ensemble. Le pendage moyen entre le centre du Bassin et l'isobathe zéro ne dépasse jamais 2°. Il est accidenté par un certain nombre de failles dont trois attirent l'attention (fig. 9) :

- la faille du Pays de Bray, relayée par la faille de Vittel, qui traversent l'ensemble du Bassin de Paris du NW vers le SE;
- les failles de Rouen, de la Seine et de Sennely qui semblent se relayer les unes aux autres, de direction sensiblement NS;
- le faisceau de failles de la Puisaye, au Sud, qui prolonge le horst du Morvan.

Les deux familles de failles déterminent trois zones structurales, A, B, C, (fig. 9). Elles ont été distinguées par Gérard (1971), schématisées par Héritier et Villemin (1971) et qualifiées par Pomerol (1977) :

1- Zone A, ou Zone Nord ou Zone picarde.

La partie du Bassin située au Nord et au Nord-Est des failles du Pays de Bray et de Vittel a une forme de demi-cuvette dont le fond se situe dans la région de Rebaix (n° 1, fig. 9). Elle est caractérisée par une rareté apparente des mouvements structuraux. Cependant une étude stratigraphique fine de la craie révélera d'une part de nombreux accidents (Pomerol, 1977) et la remontée régulière du Bassin vers les bordures d'autre part.

2- Zone B ou centrale ou axiale.

Comprise entre la faille Pays de Bray - Vittel et les failles de Rouen, de la Seine et du Sennely, cette zone est plus complexe. Au Nord, l'anticlinal du Bray est la structure majeure mais à l'Ouest, s'individualisent de nombreuses structures, de direction armoricaine, telles que celles de La Chapelle-en-Vexin (n° 2, fig. 9), de Saint-Illiers (n° 4, fig. 9) et de Beynes (n° 3, fig. 9), pour ne citer que les secteurs explorés par Gaz de France.

L'accident du Bray, dont le rejet dépasse 100 m, et la faille de Rouen délimitent un compartiment relevé qui plonge vers le centre du bassin qui se présente sous la forme d'une dépression allongée selon une direction varisque. Au Sud de la zone B, le domaine des failles de la Puisaye découpe en de nombreux panneaux le substratum du Bassin.

3- Zone C ou zone Sud-Ouest ou Zone normande.

Cette zone, située à l'Ouest des failles de Rouen, de la Seine et du Sennely, conserve une direction varisque mais la remontée Ouest du Bassin est compliquée par des failles de direction Armoricaine prédominante.

On peut rapprocher ces trois zones A, B, C, des trois zones 1, 2, 3, de Gérard (1971), (fig. 10), définies sur la base de données géophysiques (sismique, gravimétrie, magnétique). La zone 1 ou armoricaine (Zone C précédente) est marquée par des structurations de direction principalement armoricaine. Elle est limitée à l'Est (fig. 10) par la grande anomalie du Bassin de Paris sub-superposée à l'accident failles de Rouen - la Seine - le Sennely. La zone 2 ou axiale (Zone B précédente) est caractérisée par un axe lourd Paris - Rouen. Elle est séparée de la zone 3 (Zone A précédente) par un axe léger, superposé au moins au Sud, à l'accident faille du Pays de Bray - Vittel. Ces résultats ont permis à Megnier (1971) et Gérard (1971) d'envisager l'évolution du Bassin de Paris dans le cadre d'une tectonique de blocs avec un bloc Ouest (Zone 1) constitué par le socle armoricain qui se prolonge en profondeur sous le Bassin et un bloc Est, morvandais (Zones 2 et 3). Le contact entre ces deux blocs à compensation isostatique différente serait souligné par la grande anomalie magnétique du Bassin de Paris (Gérard, 1971).

Le système de failles Rouen - la Seine - le Sennely en serait la traduction en surface; le décalage vers l'Ouest de l'anomalie magnétique s'expliquant par une inclinaison de l'accident (?), (Megnier, 1971).

Ce dernier, ou rift avorté, affectant le socle antémésozoïque serait cicatrisé sans doute depuis la fin des mouvements hercyniens (Megnier, 1971).

CHAPITRE II

POSITION DU PROBLEME PALEOGEOGRAPHIQUE

CHAPITRE II : POSITION DU PROBLEME. PALEOGEOGRAPHIQUE

I- RAISON DES FORAGES DE GAZ DE FRANCE.

Depuis près de trente ans, Gaz de France recherche en France et dans le Bassin de Paris, en particulier, des structures anticlinales à aquifère, présentant des réservoirs (gréseux ou carbonatés) aptes à être utilisés pour le stockage de gaz naturel.

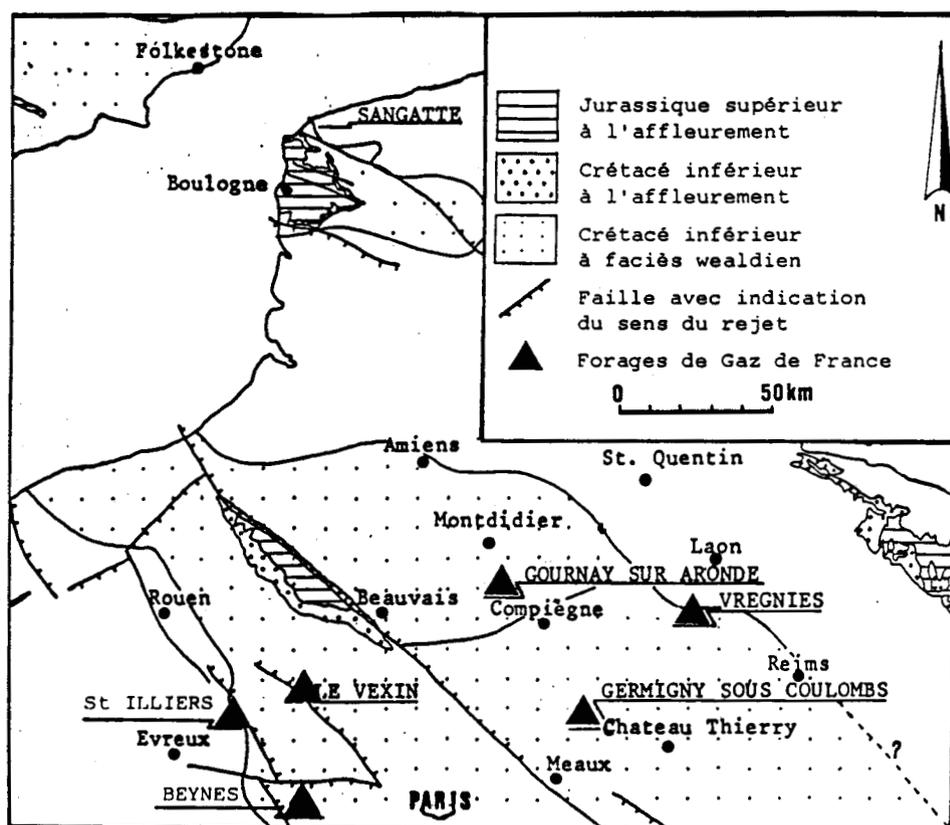


Fig. 15.- Zone d'étude : localisation des sites Gaz de France dans le centre Nord du Bassin de Paris.

Fig. 15.- Studied area : localisation of the drill sites of Gaz de France in the North-central area of the Paris basin.

Les secteurs ou sites explorés par forage, pour être retenus, doivent répondre à certaines conditions :

- niveau réservoir situé entre - 500 et - 1 500 m;
- couverture étanche;

- fermeture minimale d'une quinzaine de mètres;
- les caractéristiques pétrophysiques du réservoir ne doivent pas être inférieures à un seuil donné : 15 % pour la porosité, 100 millidarcies pour la perméabilité.

A l'heure actuelle, plusieurs sites correspondant à des formations wealdiennes répondent à ces conditions. Citons, dans le secteur qui nous concerne (fig. 15) :

- Crouy-sur Ourcq , à l'Est de Paris;
- Beynes et Saint-Illiers à l'Ouest;
- La Chapelle-en-Vexin au Nord-Ouest;
- Gournay-sur-Aronde au Nord-Est.

Le but poursuivi est de reconnaître, dans l'axe structural central NW-SE du Bassin de Paris :

- l'extension verticale et horizontale des faciès marins et continentaux, du Crétacé inférieur à faciès wealdien;
- envisager leur éventuelle continuité simple d'un site à l'autre;
- établir de nouvelles corrélations, de confirmer ou d'infirmer des corrélations déjà établies en particulier au niveau des "couvertures" supra- et infra-réservoirs;
- déterminer l'origine des apports détritiques grossiers;
- intégrer l'ensemble de ces résultats aux éléments déjà connus (cf. Châteaurenard) sur le Crétacé inférieur à faciès wealdien du Bassin de Paris.

II- LES ZONES D'ETUDE.

A- Présentation générale.

L'intérêt de l'étude s'est porté sur quatre sites (fig. 15) (Crouy-sur-Ourcq/Germigny-sous-Coulombs; Gournay-sur Aronde; La Chapelle-en-Vexin/Saint-Clair sur Epte; Vregny/Nanteuil-la-Fosse) pour les raisons suivantes :

- leur position géographique s'inscrit dans une poursuite vers le Nord des observations faites à Châteaurenard;
- la réalisation de carottages mécaniques dans le Crétacé inférieur, ce qui permet d'éviter de travailler sur "cuttings et donc de ne pas avoir les problèmes inhérents à ce type d'échantillons (prise discontinue, ponctuelle; mélanges; contaminations; niveau de provenance peu précis; taille millimétrique; ...);
- la diversité des faciès rencontrés.

1- Le site de Crouy-sur-Ourcq/Germigny-sous-Coulombs.

La structure anticlinale au toit du faciès wealdien de Crouy-sur-Ourcq/Germigny-sous-Coulombs se situe à 60 km au NE de Paris (fig. 15). Elle est orientée NNW-SSE et s'étend sur 22 km de long et 8 km de large.

L'étude concerne quatre forages disposés selon l'axe longitudinal (CR7, CR15, CR3, CR16 du NW au SE) et le forage CR2 au NE (fig. 16) (Vol. 2, Part. I, fig. 1). Le faciès wealdien qui culmine à 900 m de profondeur est constitué d'argile et de sable sur une épaisseur moyenne de 80 m).

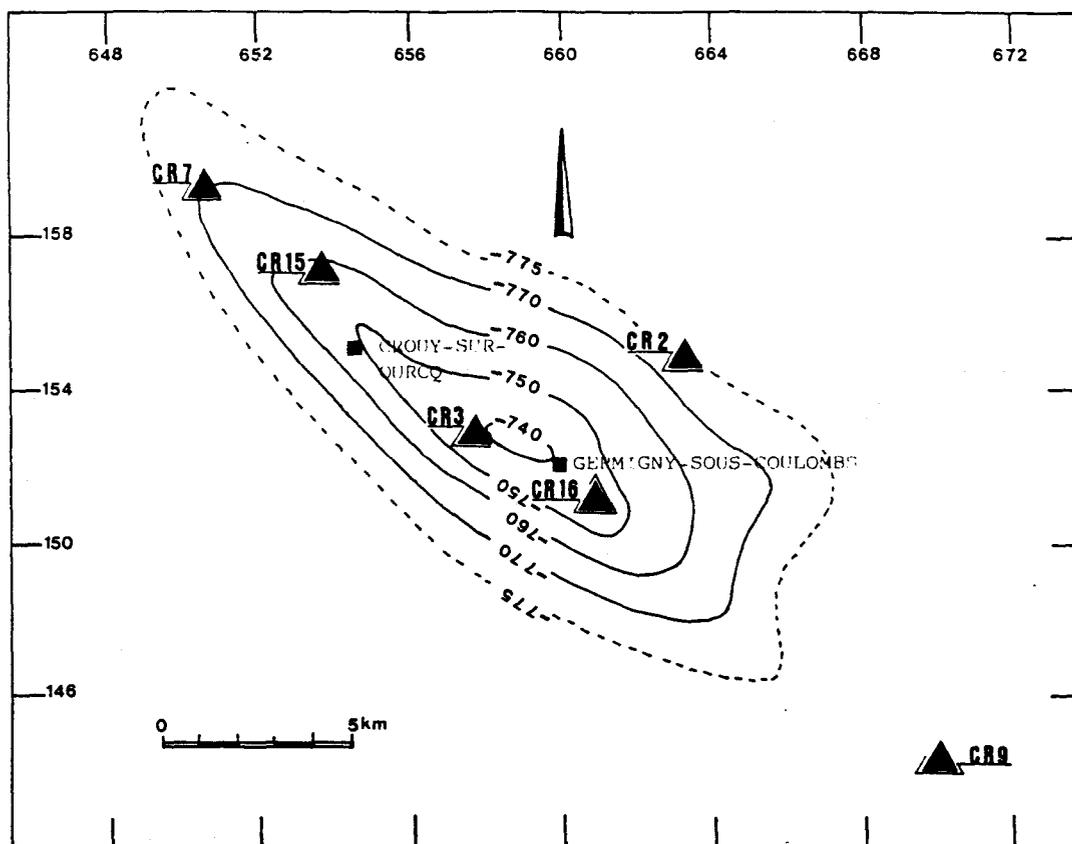


Fig. 16.- Structure anticlinale de Crouy-sur-Ourcq/Germigny-sous-Coulombs au toit du faciès wealdien (isobathes en m) et position des forages.

Fig. 16.- Anticline of Crouy-sur-Ourcq/Germigny-sous-Coulombs. Isobaths (in m) of the Wealden facies and localisation of the wells.

2- Le site de Gournay-sur-Aronde.

Gournay-sur-Aronde est situé à 80 km au NNE de Paris (fig. 15). La structure anticlinale au niveau du "Wealdien", orientée NNW-SSE, s'étend sur 7 km de long et 2 km de large (fig. 17), à une profondeur moyenne de 400 m. Les formations wealdiennes n'excèdent pas 40 m d'épaisseur. Neuf forages ont été retenus (fig. 17 : SR181 au SE; SR124, SR121, SR122, SR115, SR 141 à proximité du sommet de l'anticlinal; SR180 au NW de la culmination et SR110, SR109 à l'Ouest, Nord-Ouest.

3- Le site de La Chapelle-en-Vexin/Saint-Clair-sur-Epte.

Situés au SW de l'anticlinal du Pays de Bray (à 60 km au NNE de Paris (fig. 15), les forages de La Chapelle-en-Vexin ont rencontré les séries wealdiennes à 320 m de profondeur environ sur une épaisseur moyenne de 48 m. Le faciès wealdien n'a été l'objet de carottage mécanique qu'au puits Vn12 (fig. 18), implanté sur la partie sommitale de la structure anticlinale orientée NW-SE.

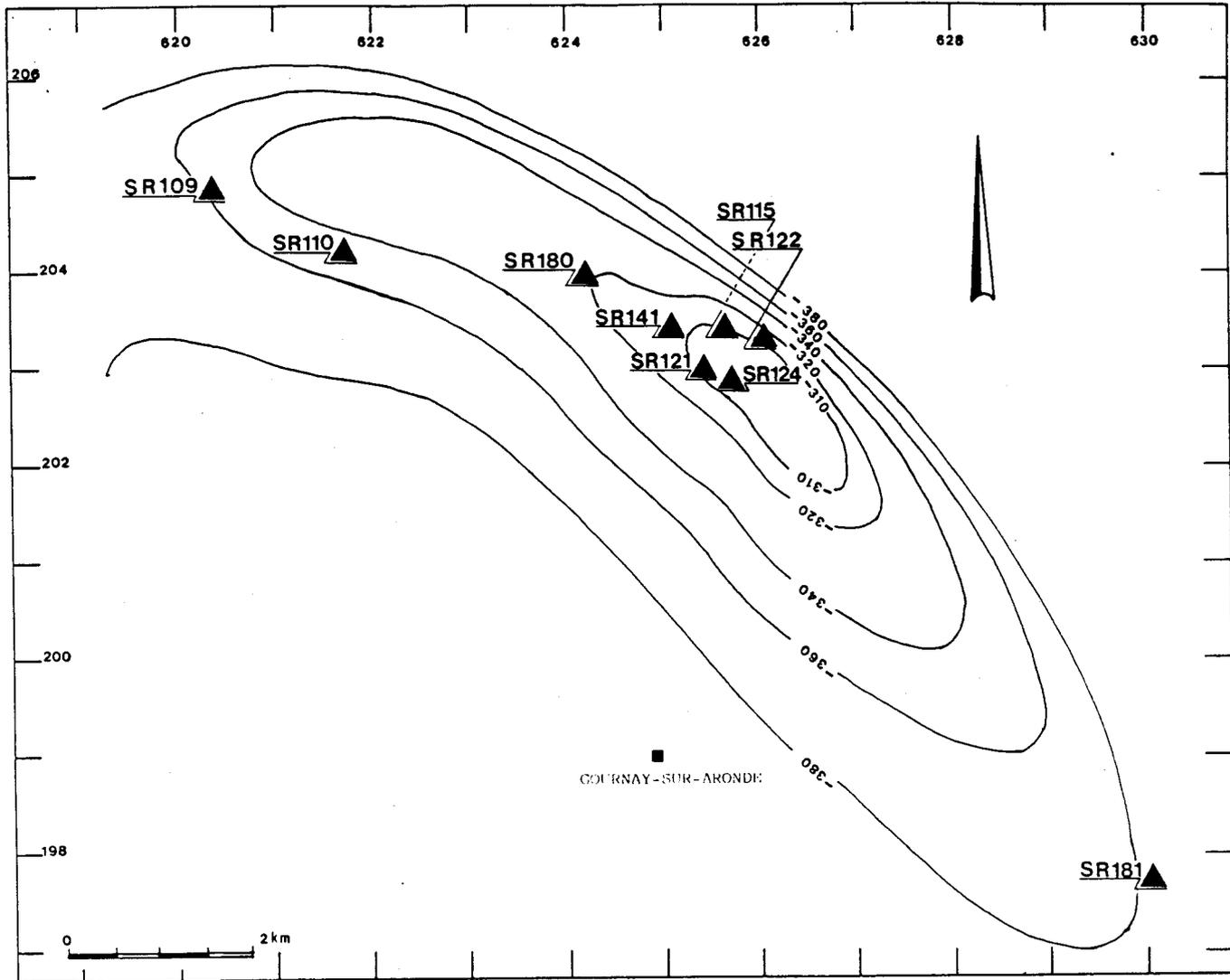


Fig. 17.- Structure anticlinale de Gournay-sur-Aronde au toit du réservoir wealdien. Isobathes en m et position des forages.

Fig. 17.- Anticline of Gournay-sur-Aronde at the top of the Wealden reservoir. Isobaths (in m) of the Wealden facies and localisation of the wells.

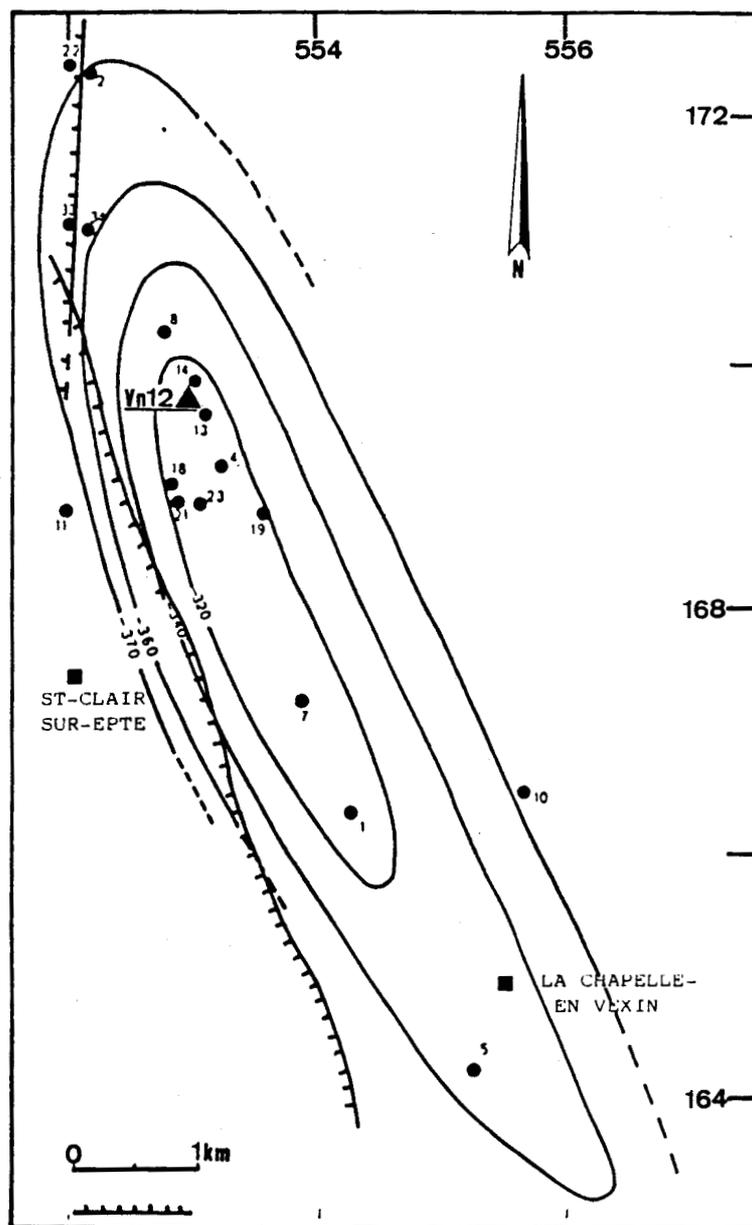


Fig. 18.- Structure anticlinale de La Chapelle en Vexin. Isobathes au toit du Portlandien et position de quelques forages.

Fig. 18.- Anticline of La Chapelle en Vexin. Isobaths of the Portlandian and localisation of some wells.

4- Le site de Vregny/Nanteuil-la-Fosse.

Situé à 110 km au NE de Paris (fig. 15), 10 km au NE de Soissons, le site de Vregny des pétroliers ou de Nanteuil-la-Fosse de Gaz de France, avait été défini par la sismique réflexion (fig. 19), comme un anticlinal au toit du Kimméridgien, orienté NNW-SSE de 10 km de long et 4 km de large. Cette structuration n'a pas été confirmée par les deux forages exécutés par Gaz de France. A partir de corrélations avec le puits pétrolier Vregny 1 (Mobil REPGA, 1959-1960), un Crétacé inférieur indifférencié (toit du Barrémien) a été reconnu à environ 670 m de profondeur. Aux puits NF1 et NF2 implantés sur le flanc NE de la structure sismique, le faciès wealdien a été reconnu (G.d.F.) à, respectivement 677,50 et 682,50 m de profondeur sur une épaisseur de 7 à 8 m reposant, par l'intermédiaire d'une surface d'érosion, sur le Jurassique supérieur à faciès purbeckien.

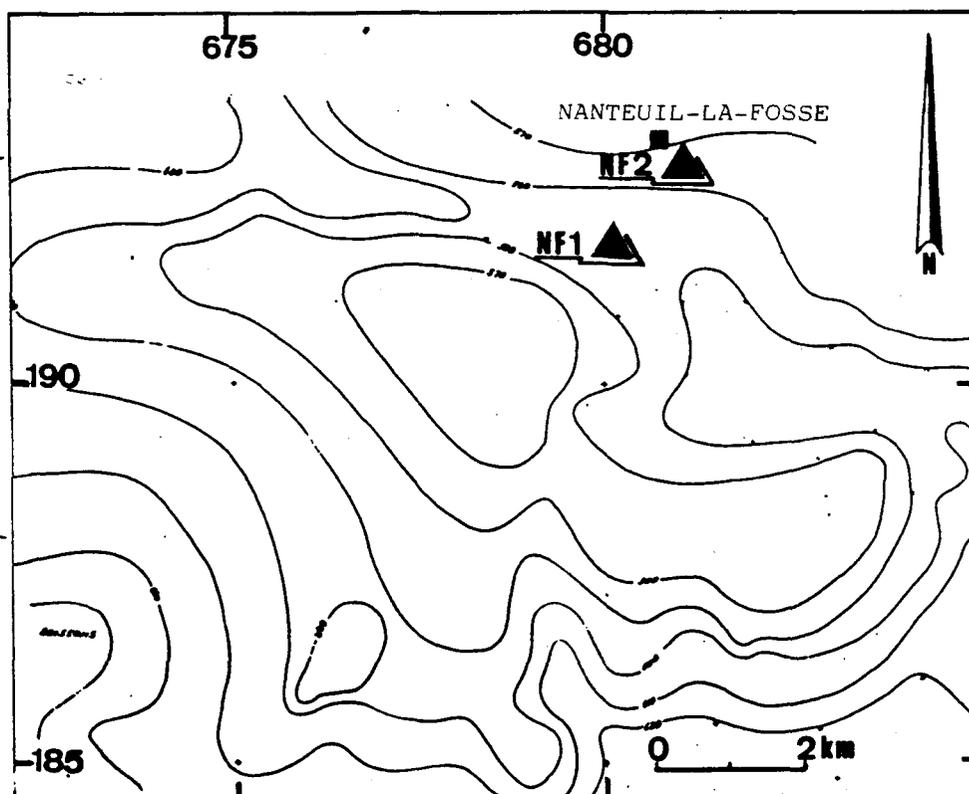


Fig. 19.- Anticlinal de Vregny ; Isochrones au toit du Kimméridgien et position des deux puits (ms temps doubles).

Fig. 19.- Anticline of Vregny ; Isochrons of the Kimmeridgian and localisation of the two wells.

B- Présentation succincte du faciès wealdien en chaque site étudié.

1- Crouy-sur-Ourcq (fig. 20).

Le forage CR2 a été pris comme exemple. Les 82 m de formations wealdiennes reposent en discordance sur le Jurassique supérieur à faciès purbeckien à 933, 20 m de profondeur. La limite supérieure, "Couverture Wealdienne", correspond aux Argiles Ostréennes qui affleurent sur la bordure SE du Bassin de Paris. Au-dessus, le Barrémien supérieur est constitué par la formation des Sables et argiles bariolés. Les limites chronostratigraphiques (Salik, 1983), ont été proposées à partir de corrélations

sédimentologiques et diagraphiques avec le champs pétrolier de Châteaurenard situé à 110 km au SE de Paris.

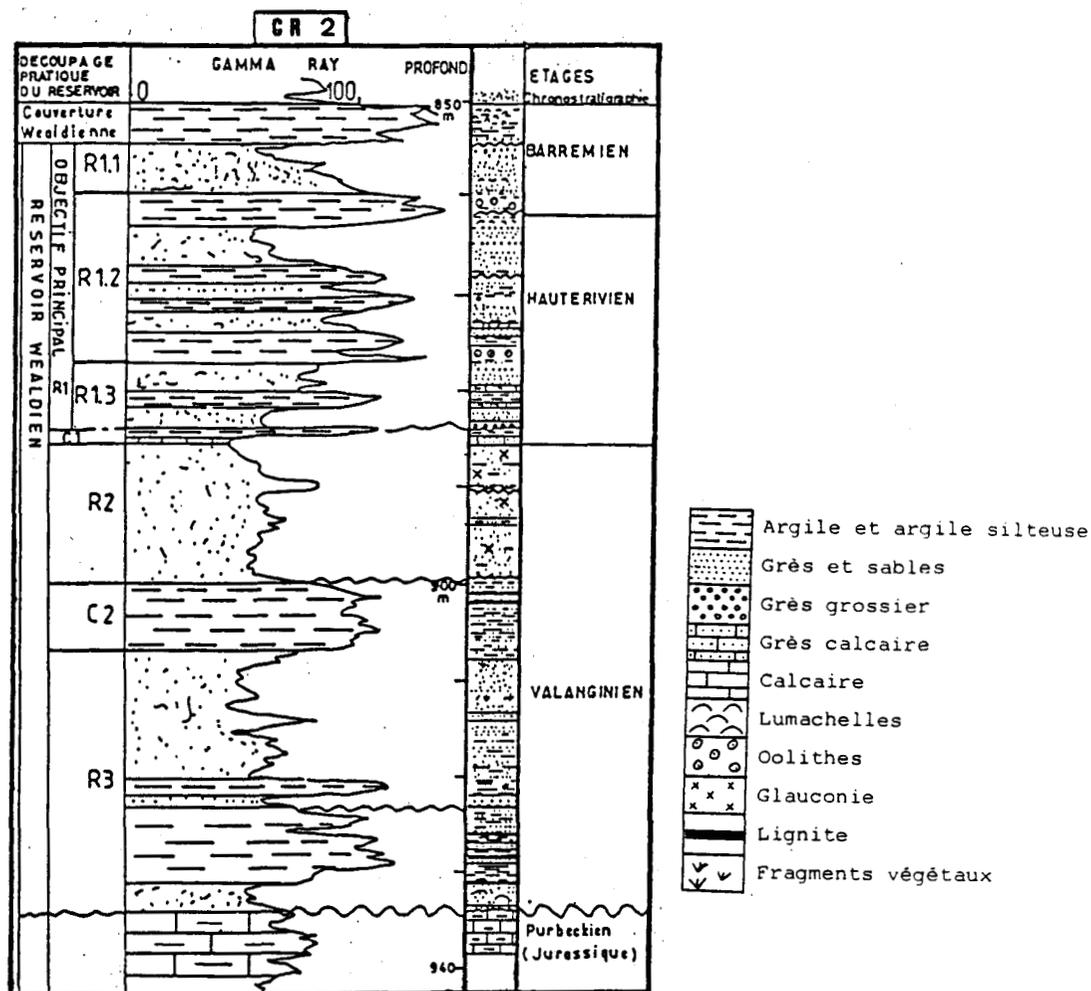


Fig. 20.- Le faciès wealdien de Crouy-sur-Ourcq ; Chronostratigraphie et terminologie G.d.F.

Fig. 20.- The Wealden facies of Crouy-sur-Ourcq ; Chronostratigraphy and nomenclature of Gaz de France.

Un découpage lithostratigraphique réalisé par Gaz de France a été défini pour suivre facilement les carottages, positionner au mieux les tests de débit en cours de forage et calculer les paramètres pétrophysiques. La formation wealdienne est ainsi divisée en trois niveaux à caractéristiques de "réservoir", R1, R2 et R3, surmontés par un niveau à caractéristiques de "couverture", respectivement C.W. ou "Couverture Wealdienne", C1 et C2. Le réservoir R1 est subdivisé en R11, R12 et R13 pour prendre en compte sa complexité due aux intercalations argileuses. On obtient un âge Valanginien pour l'ensemble "R3-C2-R2", un âge Hauterivien pour "C1-R13-R12" et un âge Barrémien inférieur pour l'ensemble "R11-C.W."

2- Gournay-sur-Aronde ; forage SR112 ; (fig. 21).

Les 40 m de formations wealdiennes (?) reposent sur le Portlandien (?) à 440 m de profondeur. Les limites chronostratigraphiques posent des problèmes en raison de l'absence de fossiles. Le sommet du faciès wealdien est placé au toit du banc d'argile (C.W. ou "Couverture Wealdienne") ou Banc argileux supérieur, c'est-à-dire à la base des Argiles et sables bariolées

du Barrémien supérieur. Au-dessous on trouve un ensemble sableux composé des "Sables supérieurs" séparés par un mince banc argileux des "Sables inférieurs" et, reposant sur le Portlandien (?), un "Complexe de base" à lithologie hétérogène. Il n'est pas impossible que ce dernier soit à rattacher au Jurassique supérieur à faciès purbeckien.

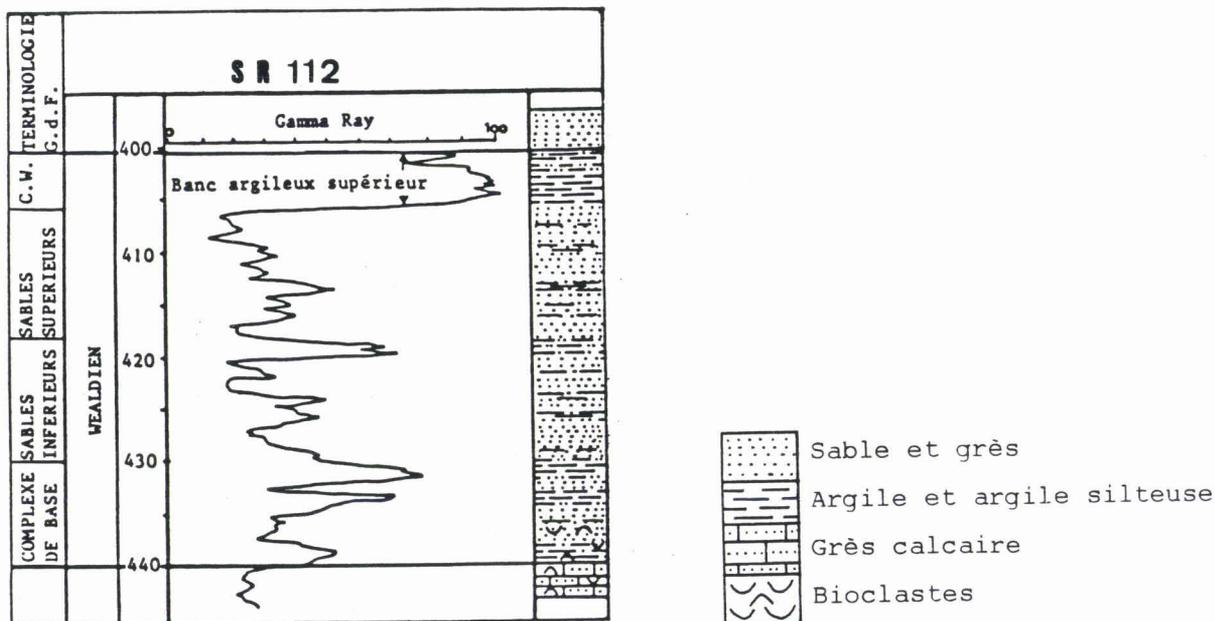


Fig. 21.- Le faciès wealdien de Gournay-sur-Arondé ; terminologie G.d.F.

Fig. 21.- The Wealden facies of Gournay-sur-Arondé ; nomenclature of Gaz de France.

3- La Chapelle-en-Vexin ; forage Vn12 ; (fig. 22).

Les 32 m de formations wealdiennes reposent en discordance sur le Portlandien à 354 m de profondeur. Au-dessous d'un banc argileux ou "Couverture Wealdienne", (C.W.), se trouve un ensemble "réservoir", sablo-argileux. Les limites d'étages ont été définies par comparaison avec d'anciens puits pétroliers de la région pour lesquels une étude micropaléontologique a été réalisée.

Salik (1983) distingue un ensemble supérieur (B), argileux, attribué au sommet de l'Hauterivien et un ensemble inférieur (A), sableux, au sein duquel l'intercalation d'un banc argileux (C1) permet de distinguer un niveau supérieur (A1) et un niveau inférieur (A2) rattaché au Valanginien.

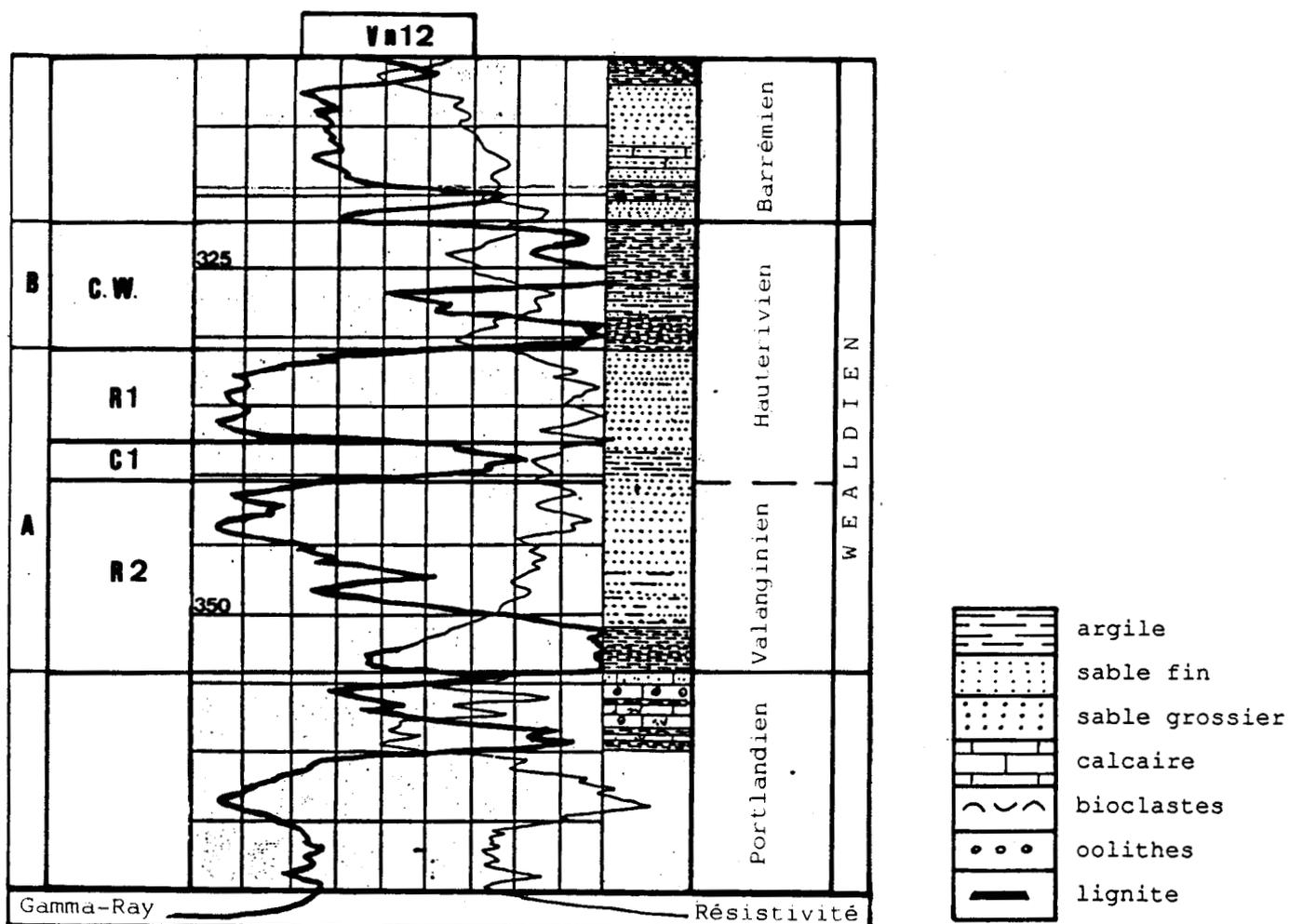


Fig. 22.- Le faciès wealdien de La Chapelle-en-Vexin ; terminologie G.d.F.

Fig. 22.- The Wealden facies of La Chapelle-en-Vexin ; nomenclature of Gaz de France.

4- Vregny/Nanteuil-la-Fosse ; forage NF2 ; (fig. 23).

Les étages et les formations géologiques comparés à ceux du forage pétrolier Vregny 1 ont permis de reconnaître un "Crétacé inférieur indifférencié" à 650 m de profondeur à caractéristiques de "réservoir" surmonté d'une "couverture" attribuée à l'Albien (Gault). Le tout repose sur le Jurassique supérieur à faciès purbeckien à 690 m de profondeur.

Sous la "couverture" Albien (Gault), le réservoir est divisé en quatre unités correspondant à des lithofaciès différents :

- Unité 1 (U1) = sables et grès, glauconieux;
- Unité 2 (U2) = argile et argile sableuse glauconieuse;
- Unité 3 (U3) = sable à laminations argilo-ligniteuse;
- Unité 4 (U4) = argile à intercalations de grès.

U1, U2 et U3
ou "réservoir" sont
d'âge Albien - Sables-verts;

Seuls les huit mètres inférieurs de cette unité semblent pouvoir être qualifiés de "Wealdien".

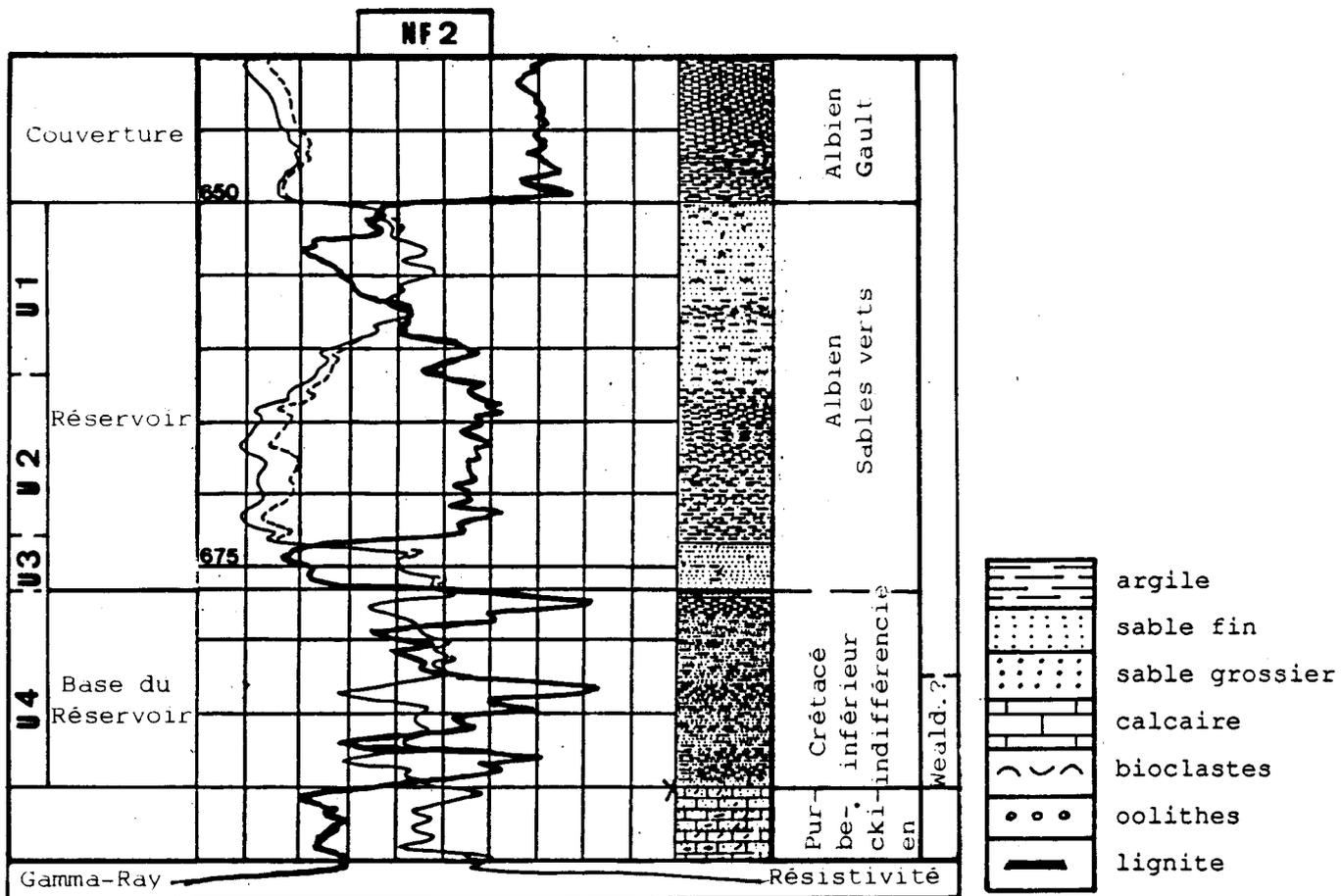


Fig. 23.- Le faciès wealdien de Vregny/Nanteuil-la-Fosse ; terminologie G.d.F.

Fig. 23.- The Wealden facies of Vregny/Nanteuil-la-Fosse ; nomenclature of Gaz de France.

C- Conclusion.

Les formations wealdiennes, ou reconnues comme telles, voient à la fois leur profondeur et leur épaisseur diminuer du Sud (CR2) vers le Nord (SR112). Corrélativement, les déterminations lithostratigraphiques et chronostratigraphiques sont de plus en plus incertaines. Les mêmes observations sont valables vers le NW (Vn12) et le NE (NF2).

CHAPITRE III

METHODOLOGIE - MATERIEL

CHAPITRE III : METHODOLOGIE ET MATERIEL D'ETUDE.

I METHODOLOGIE

Une description macroscopique et microscopique des échantillons est suivie d'un ensemble d'analyses que je scinderai en deux groupes :

- les analyses "conventionnelles" de nature sédimentologique, minéralogique, géochimique et paléontologique qui ne seront pas développées dans cette partie mais dont un résumé se trouve dans le volume 2 ainsi que les descriptions des échantillons;
- les analyses faisant appel à des outils moins "standards" tels que les diagraphies électriques et l'étude de la matière organique par procédé pyrolytique et qui seront décrites ci-dessous.

A- Etude de la matière organique.

1- Introduction.

Conçue pour les besoins de l'exploration pétrolière, la méthode utilisée est celle de la pyrolyse Rock-Eval. Ce choix a été fait en raison des multiples informations que cette méthode peut apporter sur le contenu organique des roches telles que le potentiel pétrolier, la nature des kérogènes, leur état de maturation.

Les fondements de la méthode sont largement développés par Espitalié *et al.* (1973, 1977). Ils sont basés sur l'étude physicochimique des kérogènes isolés de leur roche (Durand *et al.*, 1972 ; Espitalié *et al.*, 1973) et sur les travaux concernant leur pyrolyse (Souron *et al.*, 1974).

2- Appareillage - technique.

L'analyse de la matière organique a été réalisée dans les laboratoires de l'Institut Français du Pétrole (Rueil-Malmaison) sur un appareil de la deuxième génération, le Rock-Eval II (fig. 24), plus performant que le Rock-Eval I grâce à l'adjonction d'un microprocesseur qui, entre autres, réalise le calcul des paramètres ainsi que leur sortie sur un enregistreur imprimant.

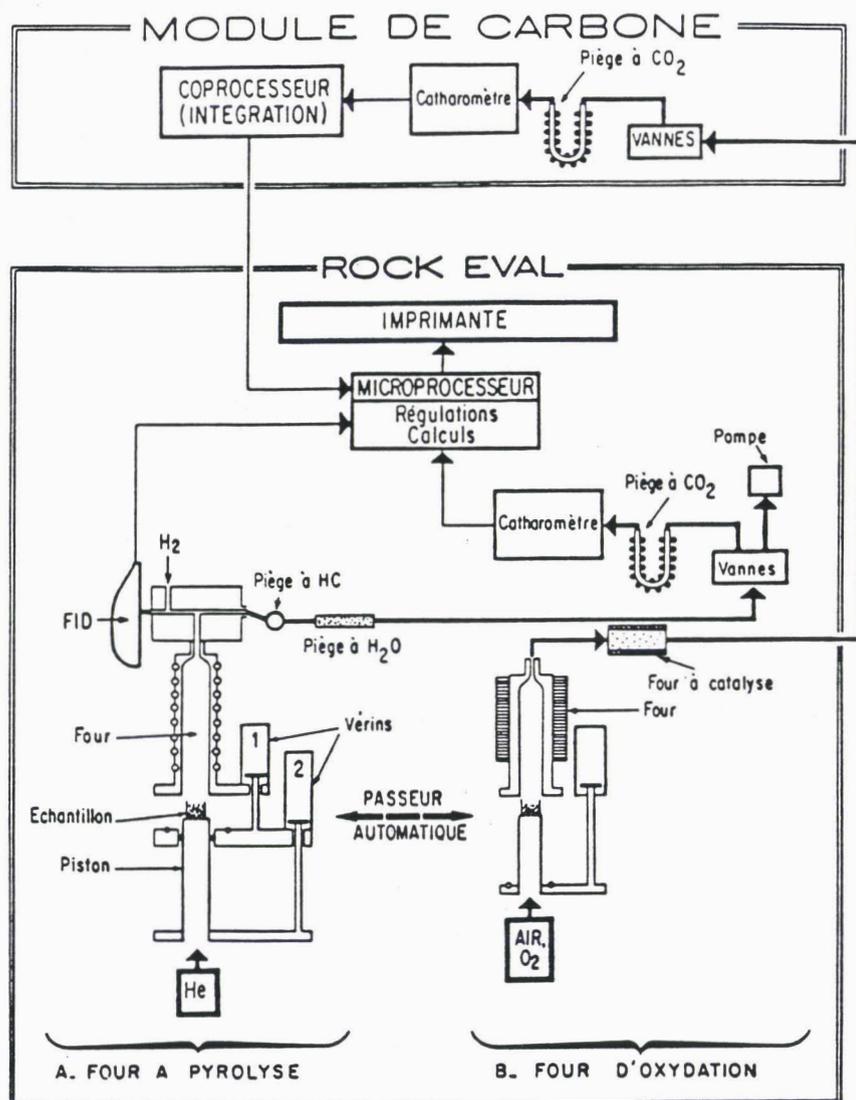


Fig. 24.- Schéma du principe de fonctionnement du Rock-Eval II muni d'un "module de carbone".

Fig. 24.- Technical device of the Rock-Eval II.

Très succinctement, la méthode (Espitalié *et al*, 1986) (fig. 25) consiste à chauffer en programmation de température ($25^{\circ}\text{C}/\text{mn}$ en moyenne), sous atmosphère inerte (Helium), un échantillon de roche broyée (100 mg environ). On distingue deux phases simultanées (fig. 25), la phase de la pyrolyse et la phase de l'oxydation, l'oxydation se faisant sur l'échantillon pyrolysé au cours du cycle précédent. Après la purge du four et de l'échantillon par un préchauffage (300 à 450°) pendant 5 mn, la température du four revient à 300°C et les hydrocarbures libres contenus dans la porosité du sédiment sont volatilisés (pic S1) puis le kérogène est craqué et libère des hydrocarbures (pic S2) par augmentation de la température pendant 13 mn 30 jusqu'à 600° mais aussi du gaz carbonique (pic S3). Après la pyrolyse, succède la phase d'oxydation de la matière organique résiduelle par chauffage à 600° pendant 7

mn. Ces conditions de durée et de température sont optimales pour la détermination du C.O.T. (Carbone Organique Totale) d'une roche totale.

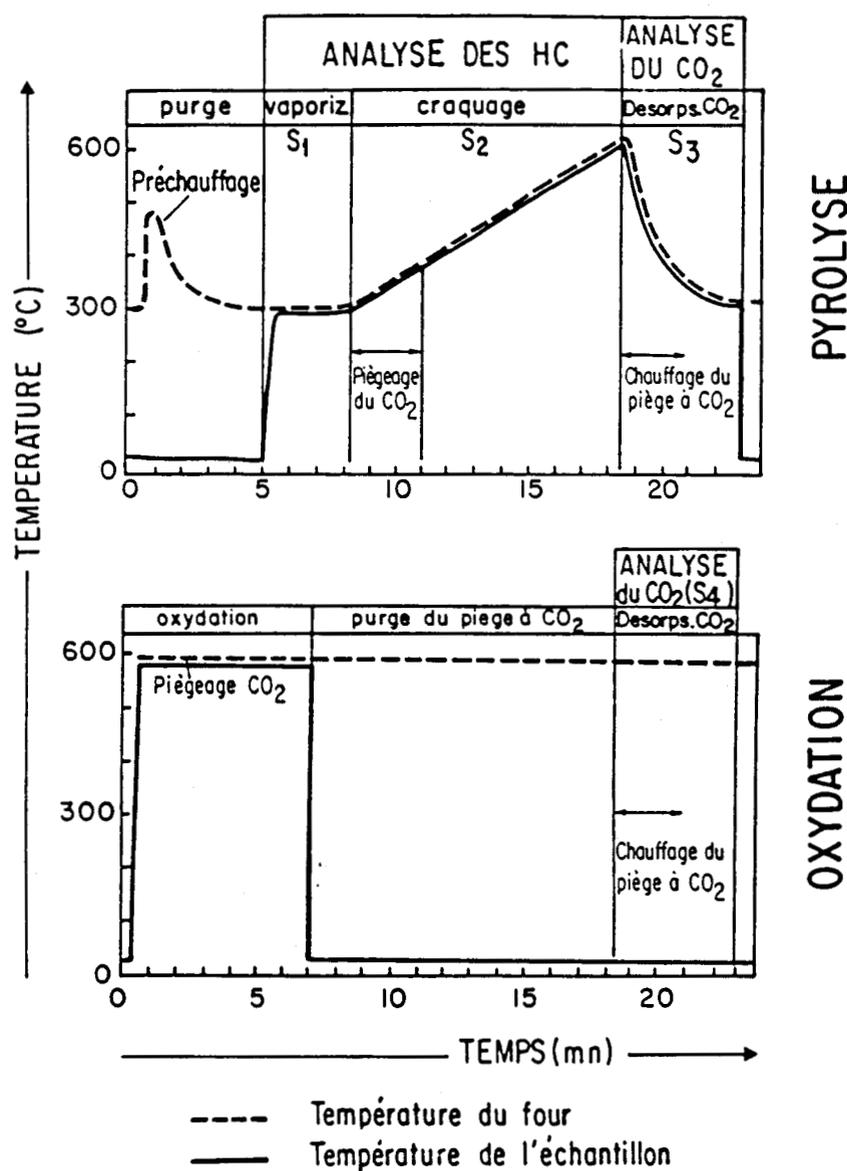


Fig. 25.- Schéma du principe du cycle d'analyse n° 1 du Rock-Eval II muni d'un "module de carbone".

Fig. 25.- Principle of the analyses cycle of the Rock-Eval II.

3- Résultats.

La méthode "Rock-Eval" permet de déterminer quantitativement et de façon sélective les hydrocarbures libres (gaz et huile), les composés hydrocarbonés expulsés lors du craquage de la matière organique non extractible (kérogène) et la teneur en carbone organique. Les paramètres obtenus se présentent sous forme de courbes (fig. 26) et de valeurs numériques telles que :

- S1 : quantité d'hydrocarbures libres (en mg d'hydrocarbures/g de roche);

- S2 : quantité de composés hydrocarbonés provenant du craquage; il représente la quantité d'huile et de gaz que le kérogène peut encore produire au cours d'une évolution ultérieure (potentiel pétrolier résiduel);

- S3 : quantité de CO₂ piégé lors du craquage du kérogène (mg de CO₂/g de roche);

T max. : température atteinte au sommet du pic S2 (degré Celsius). C'est une mesure relative qui permet de comparer les échantillons et d'établir des échelles de maturation;

- C.O.T. (T.O.C.) : carbone organique total (%) correspondant à la somme du carbone organique résiduel (provenant de l'oxydation) et du carbone organique pyrolysé déduit des quantités de composés hydrocarbonés contenus dans S1 et S2;

- H.I. : index d'hydrogène, il correspond à la valeur de S2 en mg d'hydrocarbures par gramme de C.O.T.;

- O.I. : index d'oxygène, il correspond à la valeur de S3 en mg de CO₂ par gramme de C.O.T.

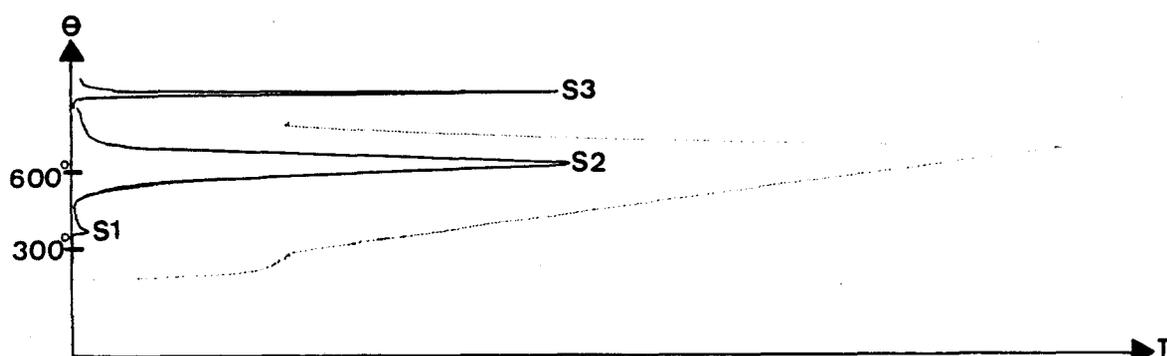
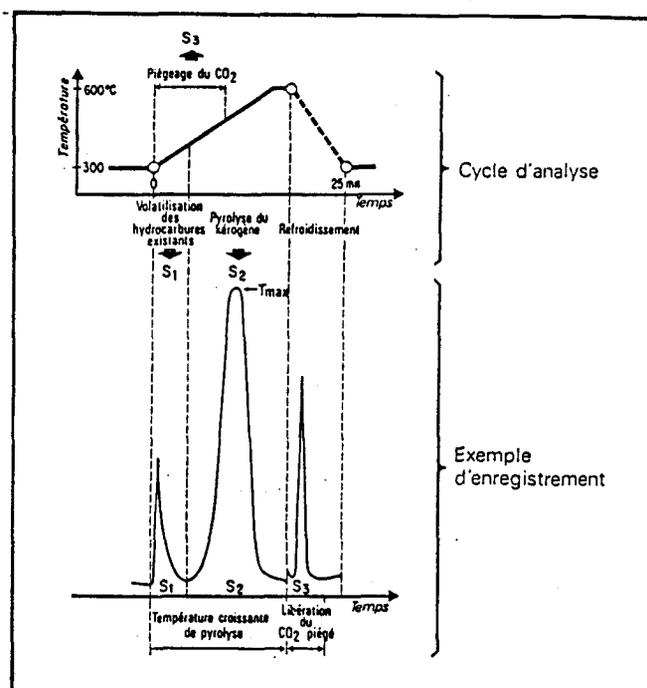


Fig. 26.- Exemple d'enregistrement du Rock-Eval (Ungerer et Durand, 1987).

Fig. 26.- Example of record of the Rock-Eval (Ungerer and Durand, 1987).

4- Exploitation des résultats.

L'expérience acquise tant par les applications aux bassins sédimentaires que par les études expérimentales menées en laboratoire a permis de mieux connaître les paramètres précédents aux travers de leurs variations (Espitalié *et al.*, 1986).

La représentation verticale des résultats sous forme de logs géochimiques permet une visualisation rapide et pratique des évolutions. Des abaques et des diagrammes de référence permettent de caractériser les roches mères et la matière organique : potentiel pétrolier, types de matière organique (lacustre ou type I, marine ou type II, continentale ou type III), le degré de maturation, les altérations...

Paramètres	C. O. T.	Type de la matière organique	Effet du degré de maturation	Effet de la matrice +	Effet de la diagenèse +	Effet de l'altération +
S 1			↗	↘		
S 2	X	X	↘	↘ types II et III		
S 3	X	X	↘			
T MAX		X	↗	↗	↗ types I, (II), III	
H. I.		X	X	↘	↗ type III	↘
O. I.		X		↗	↘	↗

Fig. 27.- Résumé des interférences entre les paramètres mesurés, le type de matière organique et "l'histoire" physicochimique.

Fig. 27.- Sum-up of the interferences between the measured parameters, the type of the organic matter and the physicochemical "story".

Dans le tableau (fig. 27) sont résumées les principales interférences entre les paramètres ainsi que les effets sur ces paramètres de la matrice, de la diagenèse et de l'altération...

B- Utilisation des diagraphies électriques.

1- Introduction.

Les diagraphies électriques constituent l'un des moyens permettant d'acquérir des renseignements sur les formations géologiques traversées par un forage. Les mesures se présentent sous forme de courbes qui montrent les variations de diverses grandeurs physiques, résistivité, radioactivité, ... , le plus souvent en fonction de la profondeur, parfois en fonction du temps. Toutes les informations recueillies donnent lieu, prises isolément ou combinées, à une interprétation qualitative et quantitative. Cette technique, complémentaire des méthodes plus purement géologiques, présente l'avantage de donner des informations en continu, de suppléer aux cuttings (prises ponctuelles et mélangées) et aux pertes de matériel en carottage.

2- Détermination de l'argilosité.

La présence d'argile dans une formation est généralement aisée à détecter (outil de radioactivité naturelle ou Gamma-Ray ou G.R.). Evaluer son abondance est plus délicat. Les références sont les valeurs des diagraphies dans les formations propres (absence d'argile) et les valeurs de ces mêmes diagraphies en face d'une argile franche. Par interpolation entre ces valeurs extrêmes, une estimation de l'argilosité est possible. Les indicateurs d'argile donnant une valeur égale ou supérieure au pourcentage vrai d'argile, on estimera l'argilosité en utilisant différents outils diagraphiques (4) et l'on retiendra la valeur la plus faible. La raison de ceci est liée au fait que la radioactivité détectée au Gamma-Ray peut être due à des éléments radioactifs autres que ceux faisant partie intégrante de la structure des minéraux argileux. Ainsi, le thorium,

détritique, peut être abondant dans les sables ou le potassium associé aux bioclastes dans des carbonates. En procédant ainsi on minore leurs effets et l'estimation de l'argilosité est la plus proche possible de la réalité :

- outil de potentiel spontané (P.S.) : $Q_{A_{P,S}} = 1 - \text{PSP}/\text{SSP}$

avec SSP, valeur lue en face d'un banc propre

PSP, valeur lue dans le banc dont est issu l'échantillon

- outil de radioactivité naturelle (Gamma Ray) : $Q_{A_{G,R}} = \frac{\text{GR} - \text{GR}_{\text{min}}}{\text{GR}_{\text{max}} - \text{GR}_{\text{min}}} \times k$

avec GR, valeur lue dans le banc échantillonné

GR_{min}, valeur minimum rencontrée (banc non argileux)

GR_{max}, valeur maximum (argile massive)

$k = 0,75$

- outil de porosité : $Q_{A_N} = \Phi / \Phi_A$

avec Φ , porosité du banc échantillonné

Φ_A , porosité de l'argile massive

- outil de résistivité : $Q_{A_R} = (R_A / R_t)^{1/b}$

avec R_A , résistivité de l'argile massive

R_t , résistivité du banc échantillonné

$b = 0,5$ ou 1 selon que R_A / R_t est inférieur ou supérieur à $0,5$

Les résultats définitifs, exprimés en pourcentage, sont, soit issus d'une interprétation automatique (programme CORIBAND)*, soit calculés manuellement du fait que l'interprétation automatique n'est effectuée que sur des niveaux sélectionnés.

3- Informations sur l'environnement.

a- Introduction.

Dans l'étude des séries anciennes, les méthodes classiques de la géologie consistent à analyser les échantillons de roches pour définir le faciès à travers les empreintes que l'environnement de dépôt y aura laissées, telles que la taille des grains, la maturité texturale, les figures sédimentaires. Cependant, la connaissance du faciès ne suffit généralement pas ; des informations complémentaires concernant l'épaisseur de chaque faciès, leur évolution avec la profondeur, donc avec le temps, apporteront des précisions parfois décisives. Dans l'étude de plusieurs puits, les diagraphies électriques vont permettre de suivre l'évolution des faciès (électrofaciès) dans le temps (électroséquences) et dans l'espace ainsi que la géométrie des corps sédimentaires (pendagemétrie).

b- Définitions : faciès-séquence.

Depuis son introduction par Gressly (1838), le terme de faciès a été employé avec différentes acceptations (Haug, 1907 ; Moore, 1949). Selley (1970) le définit comme une "masse de roche sédimentaire qui peut être définie et distinguée des autres par sa géométrie, sa lithologie, ses structures sédimentaires, le type de paléocourant et ses fossiles". Un faciès est donc implicitement limité stratigraphiquement et géographiquement. Dans l'optique de la

* Marque Schlumberger

reconnaissance d'environnements de dépôts, il est nécessaire d'élargir la définition de Selley et de mettre l'accent sur les informations physicochimiques. C'est ainsi que la faune et la flore apporteront, certes, des données stratigraphiques mais, elles reflèteront les conditions physicochimiques sous lesquelles elles se sont déposées.

La notion de séquence lithologique a été définie (Lombard, 1956), comme "une série de deux termes lithologiques au moins formant une suite naturelle, sans autre interruption importante que celle des joints de stratification. Les épaisseurs n'entrent pas en ligne de compte". Serra (1985) ajoute la notion de séquence granulométrique qui "dans une série de composition minéralogique identique (sable ou grès), fait ressortir une variation verticale de la taille des grains : grossiers, moyens, fins à très fins... On peut parler de séquence verticale si l'on veut traduire une succession de termes superposés en fonction du temps".

c- Concepts d'électrofaciès et d'électroséquence.

L'utilisation des diagrapies différées comme outil sédimentologique semble remonter aux années 1956-57 par les ingénieurs de la compagnie Shell-Pecten aux Etats-Unis. Ils avaient observé une bonne corrélation entre l'allure des courbes de Potentiel Spontané et le faciès des corps sableux dans le delta du Mississippi. Ils ont établi une classification (fig. 28) en fonction :

- du contact (abrupt ou progressif) entre les sables et les argiles sur la courbe de P.S. ;
- de l'aspect de cette courbe (lisse, dentelée, concave, convexe, rectiligne) ;

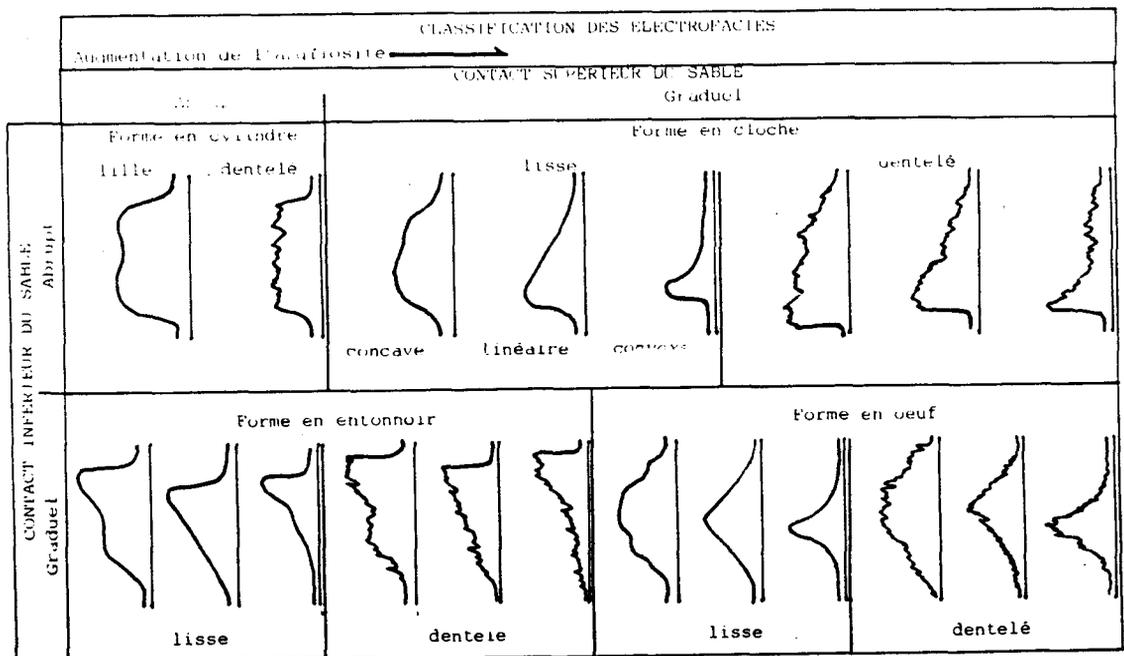
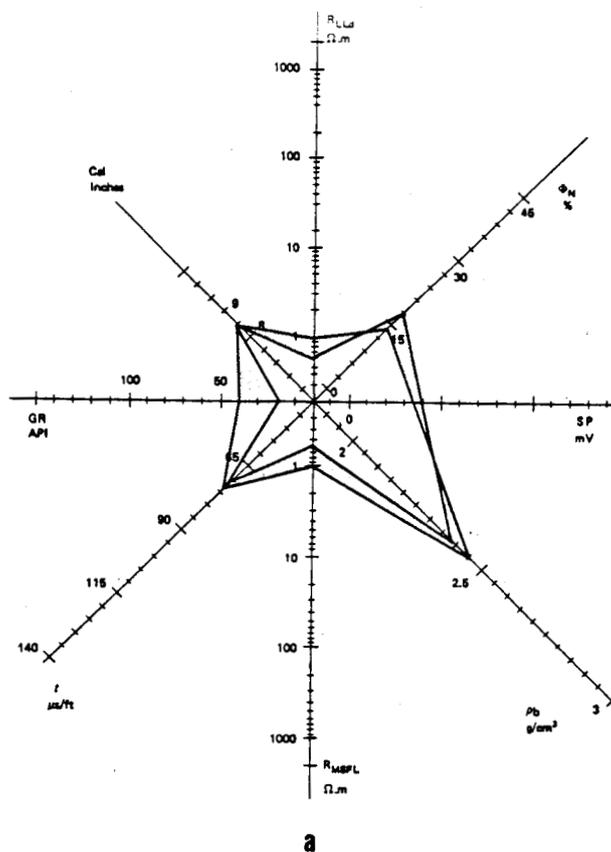


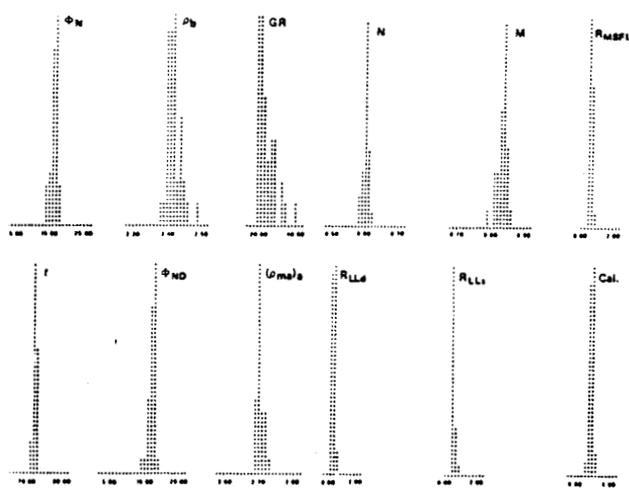
Fig. 28.- Classification des électrofaciès d'après la forme des courbes de potentiel spontané (Serra, 1985).

Fig. 28.- Classification of the shapes of the Spontaneous Potential curves (in Serra, 1985).

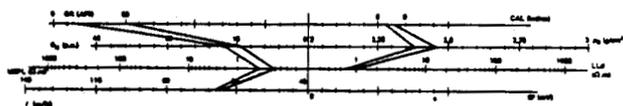
Pirson (1977) associe à chaque figure un faciès et un environnement de dépôt (fig. 30).



a



b



c

Fig. 29.- Représentation d'un électrofaciès par une rosace (a), un histogramme (b), des échelles (c). (Dans Well Evaluation Conference, Algeria 1979 ; Serra, 1985).

Fig. 29.- Representation of an electrofacies by mean of a rosette (a), an histogram (b), scales (c). (In Well Evaluation Conference, Algeria 1979 ; Serra, 1985).

Cependant, l'utilisation de l'outil de Potentiel Spontané a montré rapidement ses limites (effet parasites), ce qui incita à rechercher et à étudier la traduction du faciès et du milieu de dépôt par d'autres outils diagaphiques (Gamma Ray, résistivité, pendagemètre...). En effet, chaque réponse diagaphique apporte, à des degrés divers, des informations sur la composition minéralogique, la texture, les structures sédimentaires. Dès lors il sera possible, si le jeu de diagaphies est assez diversifié et complet, de représenter le lithofaciès par une image spectrale au travers des données diagaphiques. C'est à ce parafaciès qu'a été donné le nom d'électrofaciès (Serra, 1972), défini comme "l'ensemble des réponses diagaphiques qui caractérise un banc et permet de le différencier de ceux qui l'entoure" (Serra, 1979).

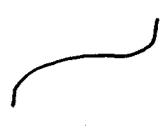
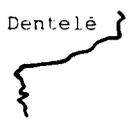
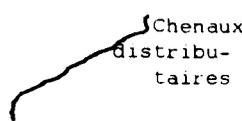
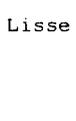
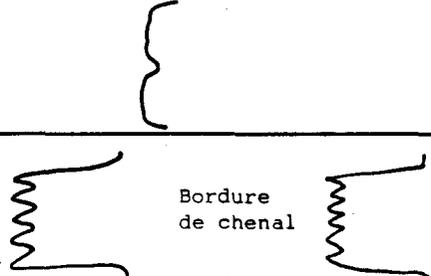
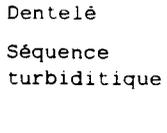
	Abrupt	Graduel		
		Accéléré	Linéaire	Décéléré
Transgressif (rivage)	Lisse Barrière Barre 		"Point Bar" 	
Forme en cloche	Dentelé 	"Point Bar" de delta 	Chenaux distribu-taires 	
Stable (rivage)	Lisse 	Bordure de chenal 		
Forme en cylindre	Dentelé Séquence turbiditique 			
Régressif (rivage)	Lisse 			Barrière, Barre 
Forme en entonnoir	Dentelé 	remplissage d'un chenal distri-butai-re 		Front de delta marin 

Fig. 30.- Classification des formes de courbe de P.S. en termes de modèles sédimentaires. (Il faut inverser la concavité des courbes pour l'outil de radioactivité naturelle (G.R.)). (Serra, 1985).

Fig. 30.- Classification of the shapes of the S.P. Curves in terms of sedimentary models (in Serra, 1985). (The concavity of the curves has to be inverted in the case of the natural radioactivité (G.R.) tool).

En pratique, à partir d'un document, le "log. composite" regroupant l'ensemble des diagaphies effectuées sur un intervalle de profondeur donné, on découpe la série à étudier en

électrobancs d'épaisseur minimale égale ou supérieure au pouvoir de résolution de l'outil diagraphique ayant la moins bonne définition verticale (2 à 3 pieds, soit 60 à 90 cm). A cet effet, on analyse l'amplitude des variations sur les différentes courbes. Suivant son importance, on décide subjectivement :

- soit qu'elle correspond à une limite d'électrobanc ;
- soit qu'elle traduit un artéfact inhérent à l'outil ou à son environnement (effet de trou), en un changement mineur des paramètres géologiques.

L'étape suivante est la lecture des mesures pour chaque électrobanc. Plusieurs représentations de l'électrofaciès ont été proposées :

- par rosace (Serra, 1977) (fig. 29a) ;
- par histogramme (Serra, 1977) (fig. 29b) ;
- par échelle (Serra, 1979 ; Serra *et al*, 1980) (fig. 29c).

Chaque branche de la rosace ou chaque échelon de l'échelle correspond à une diagraphie et à sa plage de variation. On reporte les valeurs minimale, maximale et moyenne de chaque outil sur la branche ou l'échelon et on joint les points. On dessine ainsi une figure caractérisant l'électrofaciès.

Le concept d'électroséquence est basé sur l'observation d'évolutions progressives en fonction de la profondeur de certains paramètres diagraphiques. Ainsi dans les formations argilo-sableuses, les diagraphies de Radioactivité naturelle, de Potentiel Spontané, de Résistivité, notamment, peuvent être reliées au pourcentage d'argile et à la granulométrie. On pourra en déduire l'énergie du dépôt. Une électroséquence (Serra, 1972) est définie comme un "intervalle de profondeur, supérieur à la résolution verticale du dispositif de mesure, présentant une variation progressive et continue entre deux valeurs extrêmes du paramètre mesuré, dessinant une rampe". La forme des courbes, l'allure des contacts inférieurs et supérieurs des électrobancs (intervalle de profondeur présentant des caractéristiques diagraphiques à peu près constantes) (Serra, 1985), ont permis d'établir une classification des électroséquences qui reprend la terminologie employée pour les électrofaciès (fig. 30).

Les différentes formes observées, transposées sur d'autres outils diagraphiques (Résistivité, Gamma-Ray notamment), caractérisent uniquement des électroséquences et "non des faciès et encore moins des environnements de dépôt" (Serra, 1985).

Seule la combinaison des analyses séquentielles et faciologiques permettra de préciser, en un lieu donné, les variations verticales des modalités de la sédimentation.

d- La pendagemétrie.

La caractérisation de l'environnement de dépôt peut être complétée par la recherche des mécanismes dynamiques qui ont induit la structure et la texture des électrobancs. C'est ainsi que l'outil de pendagemétrie (HDT)* donnera des informations sur les pendages structuraux et sédimentaires.

Le principe du pendagemètre est basé sur le fait que des corrélations existent entre les mesures électriques continues enregistrées le long de quatre génératrices du trou de forage.

Le pendagemètre mesure simultanément la conductivité sur quatre génératrices séparées de 90°. Verticalement, les mesures correspondent à un espacement de 5 mm. Le pendagemètre de Schlumberger utilise cinq électrodes de microconductivité, suffisamment petites pour détecter des électrobancs de 1 à 2 cm d'épaisseur, montées sur les quatre patins équidistants, appliqués contre la paroi du sondage. Le patin n° 1 (fig. 31) porte deux électrodes, la seconde étant utilisée comme référence de correction de vitesse.

* Marque Schlumberger

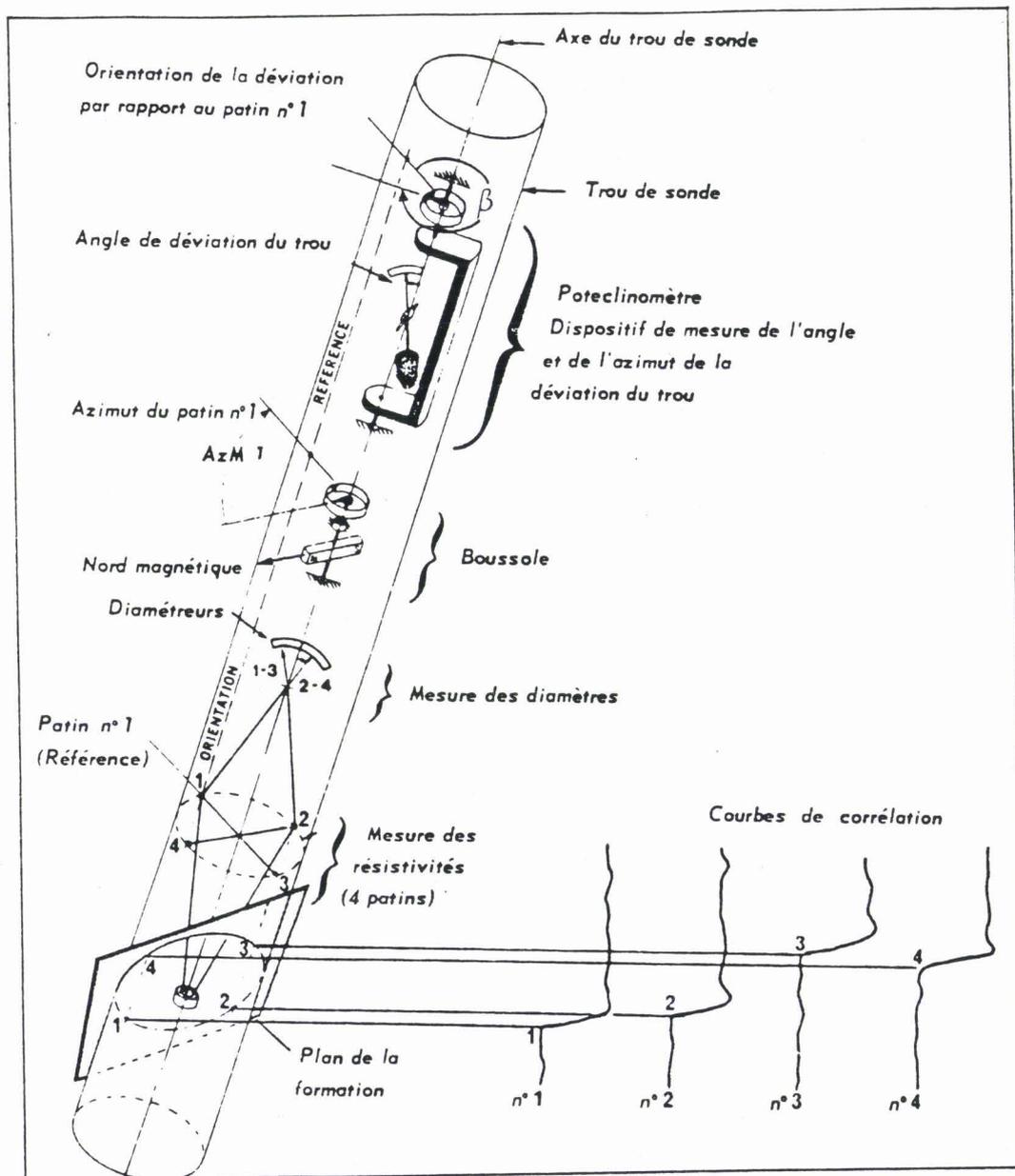


Fig. 31.- Principe du pendagemètre montrant les différentes mesures effectuées par l'outil (document Dresser - Atlas).

Fig. 31.- Principle of the Dipmeter showing the different parameters that are measured by the tool (Dresser - Atlas document).

Les enregistrements des conductivités mesurées par chaque patin sont présentés, côte à côte, en fonction de la profondeur.

Pour un électrobanco donné, les quatre patins donneront une signature électrique identique. Ces signatures étant repérées en profondeur sur chaque enregistrement, il est aisé de faire passer un plan par ces points. On obtient ainsi un pendage apparent qui sera converti en pendage réel grâce à la connaissance de trois angles mesurés en continu par l'outil :

- la déviation du sondage par rapport à la verticale (inclinaison) ;
- l'azimut de l'électrode 1 par rapport au Nord magnétique ;
- l'azimut de la déviation du puits.

Actuellement, la recherche des signatures et leur corrélation ainsi que le calcul du pendage réel, point par point, le long des formations traversées par un forage se fait automatiquement. Le traitement est réalisé par des programmes tels que "Cluster"* ou "Geodip"*.

Quel que soit le traitement utilisé, de nombreuses présentations sont possibles. La présentation la plus courante est le "tracé-flèche" (fig. 32). Chaque flèche comprend un point définissant la magnitude du pendage et sa profondeur et un tiret qui caractérise son azimut (le Nord étant situé en haut). Les autres représentations graphiques sont :

- le diagramme de fréquence d'azimut ;
- le stéréogramme "Schmidt" modifié ;
- des présentations appelées "Fast", "Stick", "Séria". Les deux premières donnent une vision bidimensionnelle représentant l'apparence du plan de couche dans le sondage, la troisième, comparable au "tracé flèche", présente séparément le pendage et l'azimut.

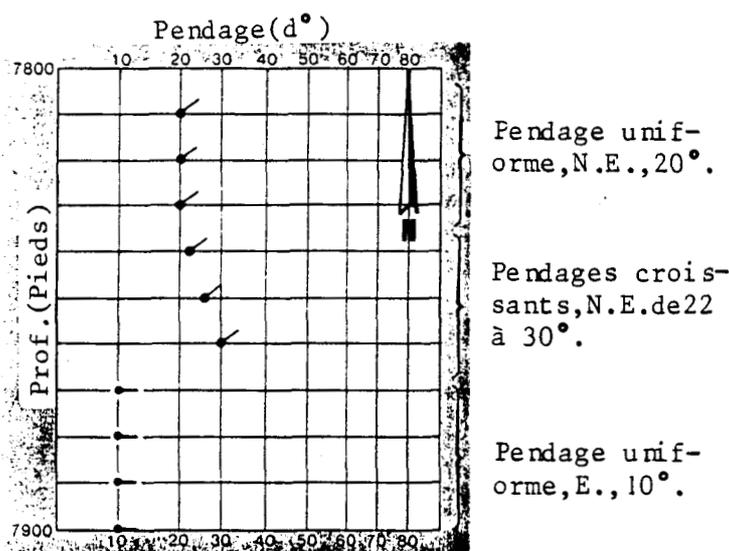


Fig. 32.- Tracé-flèche type (Têtard) (Schlumberger, 1981).

Fig. 32.- A typical arrow ("tadpole") plot (in Schlumberger, 1981).

L'aspect le plus important est l'identification des évolutions de pendages, c'est-à-dire les évolutions dessinées par des groupes de pendage d'azimut constant. On distingue classiquement trois types d'évolution avec la profondeur : augmentation, diminution et constance de la magnitude.

Connaissant le contexte géologique régional, il sera alors possible d'associer ces évolutions à un phénomène géologique précis structural (faille, plissement, discordance...) ou purement sédimentaire (axe de chenaux, directions d'épaississement, stratifications entrecroisées...).

II- ORIGINE DU MATERIEL ETUDIE - PRESENTATION.

A- Origine du matériel.

Au total, 17 forages pour quatre secteurs ont été retenus en raison de leur situation géographique ainsi que du carottage mécanique réalisés dans les formations wealdiennes. La localisation précise des forages est indiquée (vol. 2, part. 0, fig. 1) en Annexe en coordonnées Lambert (X, Y, Zsol(m)) ainsi que le département et la commune. On peut également se reporter aux figures 15 à 19.

Le matériel consiste uniquement en tronçons de carottes (au nombre de 200) dont le choix a été guidé par le souci de disposer de représentants de l'ensemble des différents électrobanes mis en évidence par les diagraphies électriques (Gamma-Ray, Résistivités) à l'appui des descriptions lithologiques effectuées par l'I.F.P. (Institut Français du Pétrole). Pour des raisons de non récupération de passes carottées (banes sableux peu ou non cimentés), certains niveaux n'ont pu être échantillonnés. L'ensemble des échantillons avec leur profondeur d'origine (cote diagraphique) est reporté (vol. 2, part. 0, fig. 2) avec les observations suivantes des forages :

- Crouy-sur-Ourcq /Germigny-sous Coulombs = CR ;
- Gournay-sur-Aronde = SR ;
- La Chapelle-en-Vexin = Vn ;
- Vregny/Nanteuil-la-Fosse = NF.

B- Nature du matériel.

L'étude, tant macroscopique que microscopique, des échantillons ainsi que les résultats des analyses calcimétriques, granulométriques et du calcul de l'argilosité (Q_A) ont permis de résumer la variété des lithofaciès à deux termes majeurs, le sable et l'argile avec passage continu d'un pôle à l'autre et un constituant mineur, les carbonates. Ceci est illustré sur la figure 33 sur laquelle j'ai reporté les valeurs concernant, à titre d'exemple, le site de Germigny-sous-Coulombs. J'ai alors défini quelques unités lithostratigraphiques (fig. 34) en fonction des proportions relatives de ces deux constituants principaux. Cette simplification facilitera la lecture, néanmoins une description complète des échantillons est reportée vol. 2, part. II. Ainsi, fig. 34, on distingue :

- de 0 à 35 % d'argilosité = Sable (S)
Calcaire (C)
Grès calcaire à Calcaire gréseux (Gc/Gc)
Calcaire argileux (C_A)
Sable faiblement argileux (S_A) ;
- de 36 à 49 % d'argilosité = Sables Argileux à Argile Sableuse (SA/AS) ;
- de 50 à 100 % d'argilosité = Argile faiblement sableuse (A_S)
Argile (A).

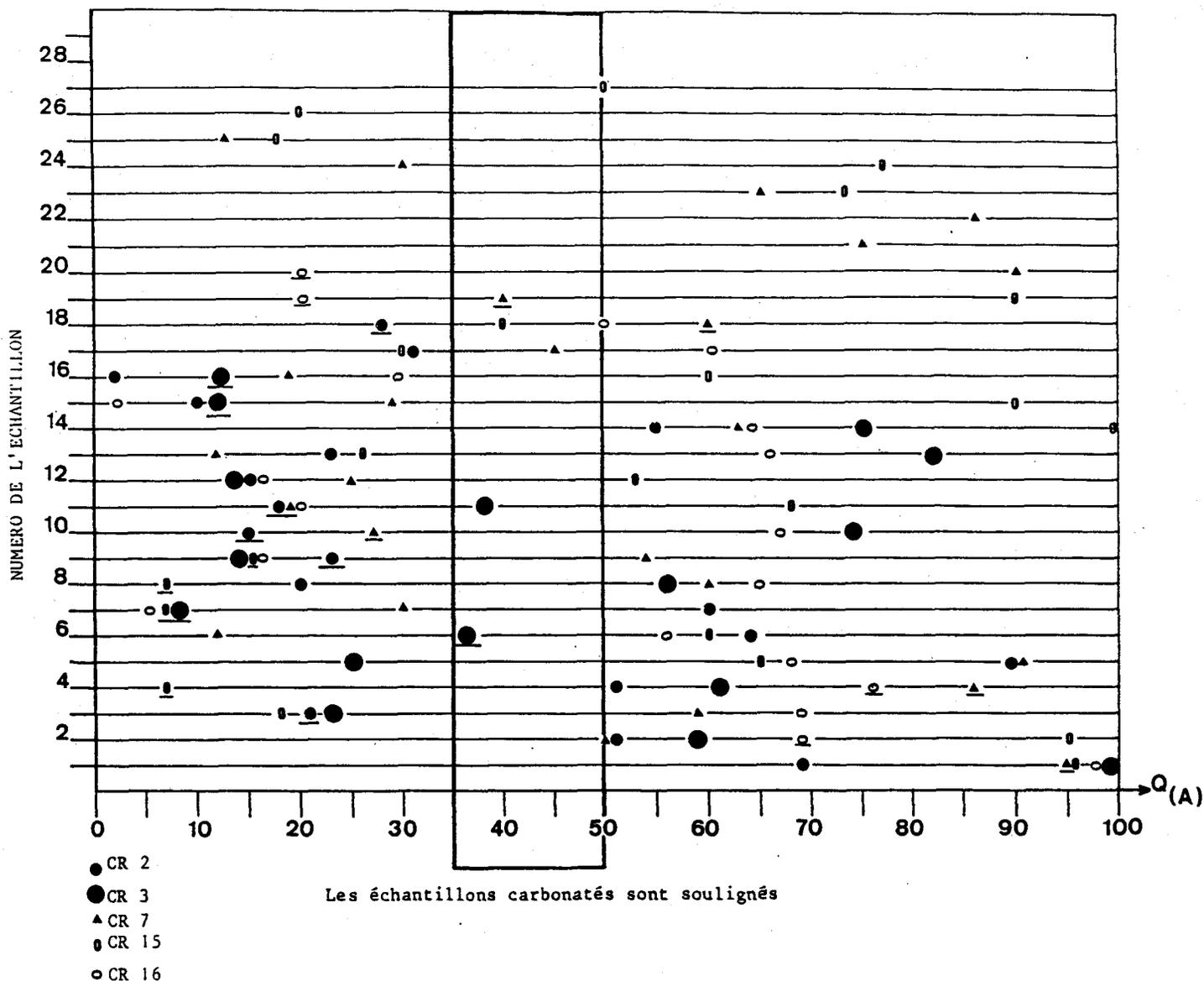


Fig. 33.- Exemple de Germigny-sous-Coulombs montrant la variété des lithofaciés en relation avec l'argilosité (Q_A).

Fig. 33.- Example of Germigny-sous-Coulombs showing the diversity of the lithofacies in relation to the shaliness (Q_A).

Ces termes incluent une signification granulométrique, pétrophysique (Porosité-Perméabilité) et d'énergie de dépôt. Ils correspondent à des lithofaciés "moyens", les échantillons étant fréquemment constitués d'alternances très fines de deux, voire trois, lithologies élémentaires auxquelles s'ajoutent des éléments que j'ai qualifiés d'accessoires et qui peuvent, parfois, être abondants tels que le lignite, les oolites, les bioclastes. Les pourcentages en carbonates, en argile, de la porosité et l'abréviation du lithofaciés sont rassemblés pour chaque échantillon vol. 2, part. 0, fig. 2. La position des échantillons est reportée sur les logs lithologiques des différents puits (vol. 2, part. 0, fig. 3 à 20) ainsi que leur attribution d'étage et les unités hydrauliques définies par Gaz de France. Dans le vol. 2, part. 0, fig. 21 a, b, c,

sont récapitulées les profondeurs, altitudes et épaisseurs des formations concernées par cette étude.

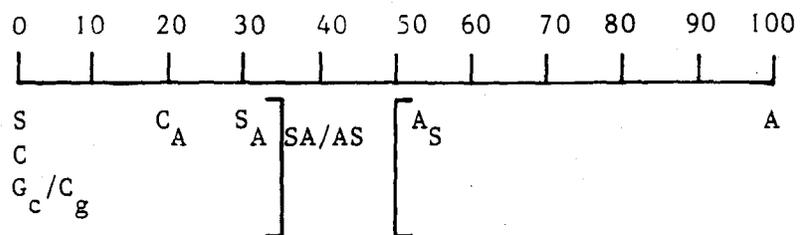


Fig. 34.- Echelle illustrant les intervalles d'argilosité pris en considération pour aboutir aux lithologies simplifiées.

Fig. 34.- Scale illustrating the intervals of the shaliness taken in account to obtain the various simplified lithologies.

CHAPITRE IV

ETUDE DU SECTEUR DE
GERMIGNY-SOUS-COULOMBS /
CROUY-SUR-OURCQ

CHAPITRE IV : ETUDE DU SECTEUR DE GERMIGNY-SOUS-COULOMBS / CROUY-SUR-OURCQ.

I- INTRODUCTION.

La structure anticlinale de Germigny-sous-Coulombs/Crouy-sur-Ourcq (Chap. II, fig. 15, 16), découverte en 1957 grâce à une campagne sismique (14-147 et 14-151)* a été confirmée par plusieurs forages effectués par Petrorep de 1957 à 1959 et par Shell-Rex de 1969 à 1971. Ce site est proposé par l'I.F.P.** à Gaz de France qui en commence l'exploration en 1979. La première phase de forages a permis de :

- reconnaître, à 900 m de profondeur, un ensemble argilo-sableux attribué au Crétacé inférieur et, plus précisément, au Néocomien à faciès wealdien ;
- prouver la structuration en anticlinal non faillé du faciès wealdien ;
- définir les qualités de réservoir (porosité, perméabilité, étanchéité, fermeture...) ;
- projeter de faire de ce niveau (ou tout au moins d'une partie de ce niveau) l'objectif des forages ultérieurs, étant donné la fermeture du piège structural.

La deuxième phase de forages a consisté en la réalisation de puits de développement dont l'implantation est commandée par le souci d'optimiser les opérations d'injection, de contrôle de niveau et de soutirage du gaz. A l'heure actuelle, plus de 30 forages ont été réalisés, 8 anciens forages et core-drills des "pétroliers" ont été repris, contrôlés et remis en état. Les motifs de réalisation liés à chaque forage expliquent une répartition non homogène de ceux-ci (densité plus importante au sommet de l'anticlinal) d'une part et que la formation wealdienne est soit carottée, soit forée, d'autre part.

Le secteur de Germigny-sous-Coulombs/Crouy-sur-Ourcq a été choisi comme secteur de référence dans cette étude en raison de :

- sa position géographique (fig. 15) : il est le plus méridional des sites étudiés, situé dans le prolongement vers le Nord de Châteaurenard ;
- il occupe une position stratégique, dans le sens des transgressions du Crétacé inférieur à partir du golfe de Bourgogne mises en évidence, entre autres et surtout, à Châteaurenard (Mathieu, 1963) ;
- le faciès wealdien y est le plus épais (plus de 80 m) ;
- le faciès wealdien a été l'objet d'un carottage quasi-systématique.

Enfin, et ceci n'est pas la moindre des raisons, les préoccupations de Gaz de France étaient de connaître l'extension horizontale des différents lithofaciès connus dans ce secteur.

Il était donc nécessaire de bien connaître ces derniers, au préalable.

La même démarche sera suivie pour l'étude de ce site puisque, fréquemment, j'étudierai dans un premier temps le forage CR16 et, dans un second temps, je comparerai les résultats avec les autres forages. Ceci est motivé par le fait que le puits CR16 présente la plus grande variété des lithofaciès d'une part et que la variabilité y est la plus nette, d'autre part.

* Nomenclature en vigueur à la D.I.C.A. (Direction des Carburants) ; le premier nombre (14) indique la région (Bassin Parisien) ; le second correspond à un numéro d'ordre.

** Institut Français du Pétrole.

II- LES SERIES RENCONTREES DANS LES FORAGES.

A- Les formations à l'affleurement.

La structure anticlinale wealdienne de Germigny-sous-Coulombs, limitée par l'isobathe -770 m (Chap. II, fig. 16) se situe dans le quart Nord-Est (Vol. 2, planche hors-texte 1) de la carte géologique de la France au 1/50 000, feuille de Meaux (XXV-13), éditée par le B.R.G.M. Les formations qui affleurent dans la zone d'étude sont représentées par des dépôts tertiaires et quaternaires entaillés par un système hydrographique comportant deux axes majeurs :

- la Marne, sensiblement Est-Ouest, aux méandres encaissés ;
- l'Ourcq, affluent de la Marne, recoupe la feuille du Nord-Est au Sud-Ouest.

Les terrains affleurant sont :

- des marnes, caillasses et le calcaire à Cerithes (e5b) du Lutétien (forage CR2) ;
- des limons fins, argilo-sableux et/ou calcareux (Fz) du Quaternaire (forage CR15).

B- Stratigraphie détaillée : forage CR16.

Des raisons techniques en rapport avec la préparation d'un site de forage font que les premiers mètres de formation ne sont ni récoltés, ni analysés.

Ceci explique que le log lithologique (Vol. 2, planche hors-texte 1) ne débute qu'au Bartonien. Au-dessus, d'après la carte géologique précédemment citée, on trouverait de bas en haut :

- le marbre de Brie (g1b) et l'argile verte (g1a) du Stampien inférieur ;
- les limons et l'argile à meulière, mêlés (LP-RM) du Quaternaire.

En forage, les formations rencontrées et identifiées sont, du haut vers le bas :

- 30 à 35 m d'argiles calcaires beiges, marnes blanchâtres, calcaires beiges, sables fins et faluns à coquilles blanches du Bartonien ;
- 45 m de marnes beiges, calcaires blancs et calcaires graveleux légèrement dolomitiques du Lutétien ;
- 55 m de sables fins à grossiers à passées argileuses parfois bioclastiques de l'Yprésien avec un banc d'argile calcaire noire à la base ;
- 25 m de calcaires argileux, marnes silteuses blanc-ôcre et grès à ciment calcaire du Thanétien ;
- 350 m de craie blanche, à silex plus abondants dans la moitié supérieure du Sénonien ;
- 105 m de craie blanche du Turonien ;
- 60 m de craie grise légèrement argileuse et grès à ciment calcaire à interbanes de marne grise du Cénomaniens ;
- 150 m d'argiles calcaires et/ou silteuses grises ou noires et sables plus ou moins argileux glauconieux à passées d'argile sableuse de l'Albien ;
- 15 m d'argiles silteuses brunes et noires à la base de l'Aptien ;
- 80 m d'argiles, argiles sableuses, sables argileux à passées oolithiques ou lumachelliques au sommet, banc métrique de calcaire gréseux, puis argiles compactes noires et sables argileux à la base pour le Barrémien ;
- 18 m d'argiles à oolithes éparses et lentilles sableuses de l'Hauterivien ;
- 45 m d'alternances d'argile sombre et de sables fins, gris, pouvant être moyen à grossier et silto-argileux ou argileux du Valanginien ;
- quelques mètres de calcaires sableux, bioclastiques à interlits de marne du Portlandien à faciès purbeckien.

C- Analyse lithologique détaillée du faciès wealdien au puits CR16.

Les formations continentales à faciès wealdien du Crétacé inférieur au puits CR16 sont représentées par des dépôts argileux et sableux d'une épaisseur totale de 82,50 m. Ils reposent sur un Purbeckien carbonaté à 1 003,40 m de profondeur.

Le faciès wealdien commence par 5,1 m d'argiles noires, compactes (de 920,9 m à 926 m), (Couverture Wealdienne de Gaz de France), au sein duquel s'intercalent quelques bancs minces (épaisseur inframétrique) de grès fins à ciment argileux ; on distingue six niveaux argilo-sableux plus ou moins poreux (Réservoirs de G.d.F., numérotés r1 à r6) séparés les uns des autres par des bancs argileux plus ou moins massifs et homogènes (Couvertures intermédiaires de G.d.F.) :

- 8,20 m d'épaisseur (926 à 934,20 m) pour le premier niveau argilo-sableux composé de 3 m d'argiles grises plus ou moins silteuses (926 m à 929,50 m), d'un banc métrique (929,50 m à 930,50 m) de grès à ciment carbonaté renfermant des coquilles de Lamellibranches, de 3,70 m de sables (930,50 m à 934,20 m) à grains fins à moyens, s'enrichissant en argile vers la base ; on observe des éléments figurés (oolithes ferrugineuses, débris végétaux), des minéraux accessoires ("glaucanie") et des figures sédimentaires (stratifications entrecroisées), (r1) ;

- 3,80 m (de 934,20 à 938 m) d'argiles silteuses gris-noir, bioclastiques (à 936 m) à interbancs de silt argileux noir-verdâtre, avec des figures sédimentaires au sommet (microslumps et cross-beddings) ;

- 2,50 m (de 938 à 940,50 m) de sables gris faiblement argileux, à grains moyens à grossiers, (r2) ;

- 8,90 m (de 940,50 à 949,40 m) d'argiles noires à grises, ligniteuses, pyriteuses, riches en oolithes ferrugineuses présentant des bioturbations à la base et des plans de friction (à 45°) au sommet, à interlits d'argiles silteuses noires ou bariolées rouge et blanc ;

- 4,90 m (de 949,40 m à 954,30 m) de grès gris-brun, parfois verts ("glaucanieux"), à grains fins, à ciment argileux peu abondant et à lignité éparse, (r3) ;

- 6,10 m (de 954,30 m à 960,40 m) d'argiles gris-noir à passées gréseuses, à niveaux bioclastiques et niveaux oolithiques, devenant silto-sableuse vers le haut ; de 956 m à 958 m, figures de courant ;

- 13,6 m (de 960,40 m à 974 m) de grès gris-vert, à grains fins et ciment soit argileux, soit silto-argileux (soit carbonaté, en particulier au sommet) ; présence de nodules argilo-dolomitiques (vers 965 m) et de bioclastes (vers 963 m), (r4) ;

- 7 m (de 974 m à 981 m) d'argiles gris-noir, plus ou moins silteuses, très ligniteuses et pyriteuses, bioturbées ; une passée de silt-argileux de 977 à 978,50 m ;

- 8,70 m (de 981 m à 989,70 m) de sables et de grès beiges, à grains moyens à grossiers, à fragments ligniteux et laminations argileuses, (r5) ;

- 2 m (de 989,70 m à 991,70 m) d'argiles très silteuses, grises, pyriteuses, à passées charboneuses et interlits gréseux ;

- 11,70 m (de 991,70 m à 1 003,40 m) de grès gris à gris-beige, à grains fins à moyens et ciment argileux peu abondant, d'argile grise silteuse et de silt argileux gris ; lignite et pyrite abondants ; bioturbations et laminations argileuses, (r6).

Le Jurassique supérieur à faciès purbeckien débute à 1 003,40 m par des grès à ciment calcaire bioclastiques. Il n'a pas été observé de niveau repère entre le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur.

D- Datations au puits CR16.

1- Introduction.

Les limites chronostratigraphiques adoptées par Gaz de France sont reportées sur la figure (Vol. 2, Part. I, fig. 3 à 8 et 21). Elles ont été établies essentiellement par corrélations de faciès et d'électrofaciès, en raison de la stérilité relative ou absolue des niveaux concernés, avec les résultats des forages pétroliers antérieurs et des études des formations de surface.

Les extractions paléontologiques que j'ai réalisées ont cependant, montré un contenu faunistique et floristique qui, à défaut d'être riche, est au moins varié. Les échantillons ont ainsi livré une faune constituée par des :

- Ostracodes ;
- Foraminifères ;
- Lamellibranches ;
- Gastéropodes ;
- Dents de poissons ;
- Fragments d'os ;
- Spicules d'Echinodermes ;
- Entroques

et une flore composée de :

- Fructifications de conifères (Ecussons de cônes mâles ;
- Mégaspores ;
- Microspores et pollens ;
- Dinoflagellés.

La répartition dans les échantillons est indiquée sur les figures 1, 2, 5, 8, 9 et 11 (Vol 2, Part. IV).

2- Limites d'étages adoptées par Gaz de France.

a- Critères.

La limite inférieure des formations wealdiennes est imprécise. Toutefois, on reconnaît au faciès wealdien une dominante sablo-argileuse par rapport au Purbeckien qui est généralement carbonaté avec des calcaires gréseux, des grès à ciment calcaire, des calcaires dolomitiques. Cette considération se traduit sur les logs électriques par une limite marquée (Vol. 2, planche hors-texte 3) par un pic de résistivité très élevée concomitant d'une radioactivité très basse.

La limite supérieure se situe dans le Barrémien qui se présente sous deux principaux faciès. On distingue ainsi le Barrémien inférieur ou Argiles Ostréennes et le Barrémien supérieur avec la formation des Sables et argiles bariolées ou panachées.

La limite supérieure du faciès wealdien est conventionnellement fixée à la base des Sables et argiles bariolées ou panachées. Les données paléontologiques n'apportent pas de zonation faunistique précise et ce, pour deux raisons : tout d'abord, les études ne sont pas très nombreuses, ensuite elles se localisent aux zones d'affleurement (Pays de Bray, Boulonnais, Bassin de Mons) qui sont peu étendues, situées à la périphérie septentrionale du Bassin de Paris et donc pas très représentatives de l'ensemble du milieu de sédimentation des formations wealdiennes.

Les limites chronostratigraphiques (Vol. 2, Part. I, fig. 3 à 8 et 21) sont dues à Salik (1983) et ont été proposées à partir de corrélations sédimentologiques et diagraphiques avec le champ pétrolier de Châteaurenard (fig. 14) où Mathieu (1963) a distingué dans le "Crétacé inférieur-Néocomien" six zones basées (Chap. I, III, 4, b) sur des déterminations de microfaune qui correspondent aussi à des faciès propres repérables sur les logs électriques.

b- Limites au puits CR16.

Au puits CR16 (Vol. 2, Part. I, fig. 8 et Vol. 2, planche hors-texte 3), l'extension verticale des dépôts wealdiens en fonction de l'âge est la suivante (Salik, 1983 ; Leblanc *et al.*, 1984) :

- le Valanginien de 1 003,40 à 960,40 m ;
- l'Hauterivien de 960,40 à 938 m ;

- le Barrémien inférieur de 938 à 920,90 m ;

3- Limites chronostratigraphiques données par l'analyse paléontologique.

a- Méthode.

J'ai effectué un contrôle des limites d'étages en utilisant les Ostracodes, les microspores et les grains de pollens, les Dinoflagellés, les Foraminifères et les restes de vertébrés (dents de poissons surtout). Mon choix a été guidé par l'intérêt stratigraphique des individus d'une part, et par leur état de conservation d'autre part. Ces fossiles, à l'exception des Dinoflagellés, sont fréquemment utilisés pour les datations et les reconstitutions paléogéographiques. C'est pourquoi ceux-ci sont présentés en Annexe IV. Les extensions verticales prises en considération sont celles des auteurs suivants :

- Babinot *et al.* (1985) et* Colin *et al.* (1985) pour les Ostracodes ;
- Habib (1983), Jaroline *et al.* (1984) et Graham *et al.* (1985) pour les Dinoflagellés ;
- Delcourt et Sprumont (1955, 1957), Levet-Carette (1966), Hengreen (1970) *et al.* (1981), Decommer (1979, 1981) et Batten (1987) pour les microspores et les grains de pollens ;
- * Bizon (I.F.P. - B.E.I.C.I.P.) pour les Foraminifères
- * Gayet (M.N.H.N.) pour les restes de Vertébrés.

Dans certains cas, les extensions verticales sont plus ou moins étendues selon les auteurs. En conséquence, j'ai considéré deux 2 échelles chronostratigraphiques :

- une échelle "étendue" en considérant les plus longues;
- une échelle "réduite" en prenant les durées de présence les plus courtes.

Les extensions verticales sont rassemblées dans le volume 2, partie IV, figures 12 à 18.

b- Applications au puits CR16.

les fossiles retenus pour les datations apparaîtront dans le texte avec le numéro qui leur est affecté dans la liste des fossiles classés par ordre alphabétique (Vol. 2, Part. IV, fig. 3, 6, 9, 11).

L'échantillon CR16-1 d'après une faune constituée d'une espèce d'Ostracode (*Parasternbergella amygdaloïdes*, n°29, Vol. 2, Part. IV, fig. 3, 4), de quatre espèces de Dinoflagellés (*Achomosphaera neptunii*, *Gardodinium trabeculosum*, *Pseudoceratium pelliferum* et *Subtilisphaera perculida*, n° 3, 11, 24, 28, Vol. 2, Part. IV, fig. 9, 10) correspond à deux zones "d'extension concomitante" qui lui confère un "âge large" Hauterivien inférieur à Barrémien inférieur et un "âge réduit" Hauterivien supérieur, Vol. 2, Part. IV, fig. 12.

Trois espèces d'Ostracodes (*Centrocythere sculpta*, *Parasternbergella amygdaloïdes*, *Schulerridea bilobata*, n° 4, 29, 42, Vol. 2, Part. IV, fig. 3, 4) et quatre espèces de Dinoflagellés (*Hystrichosphaerina schindewolfi*, *Muderongia staurota*, *Phoberocysta neocomica* et *Pseudoceratium pelliferum*, n° 14, 17, 23, 24, Vol. 2, Part. IV, fig. 9, 10) donnent un âge unique, Barrémien inférieur, à l'échantillon CR16-5 (Vol. 2, Part. IV, fig. 13).

Un âge, unique, Hauterivien moyen (Vol. 2, Part. IV, fig. 14) pour l'échantillon CR16-10 est déduit de la présence de'une microfaune et d'une microflore constituée de trois espèces d'Ostracodes (*Costacythere franki*, *Parasternbergella amygdaloïdes*, *Schulerridea extraena*, n° 7, 29, 44, Vol. 2, Part. IV, fig. 3, 4), de trois espèces de Dinoflagellés

* Correspondance manuscrite

(*Cyclonephelium distinctum*, *Oligosphaeridium asterigerum*, *Oligosphaeridium complex*, n° 8, 18, 19, Vol. 2, Part. IV, fig. 9, 10) et d'une espèce de Foraminifère (*Marginulina* cf *sigali* B. et B., n° 30, Vol. 2, Part. IV, fig. 11).

c- Conclusion.

Le contenu fossilifère des échantillons du forage CR16 est assez riche, cependant peu d'individus permettent de dater avec précision. Seuls, les trois échantillons précédents ont fourni une datation. Néanmoins, de par leur situation en profondeur, ils permettent de confirmer à défaut de préciser, les limites d'étage établies par Gaz de France avec une "Couverture Wealdienne, C.W." d'âge Barrémien inférieur et une "Couverture C1", *pro parte*, d'âge Hauterivien moyen (Vol. 2, Part. I, fig. 8).

III- CORRELATIONS SUR LE SITE DE GERMIGNY-SOUS-COULOMBS / CROUY-SUR-OURCQ.

A- Introduction

Bien que le contenu fossilifère de l'ensemble des échantillons soit important, mais en raison du nombre réduit d'entre eux ayant la qualité de "bon fossile stratigraphique" les corrélations établies par Gaz de France seront vérifiées en utilisant les fossiles dans la mesure du possible d'une part, et les données faciologiques (faciès - électrofaciès) ainsi que les résultats de l'analyse de la fraction argileuse, d'autre part. Je procéderai de proche en proche à partir du forage CR16; c'est-à-dire, dans un premier temps vers le Nord-Est, forage CR2, puis, dans un deuxième temps vers le Nord-Ouest, forage CR3 puis CR15 et CR7 (Chap. II, fig. 16).

B- Utilisation des données paléontologiques.

Le contenu faunistique et floristique des échantillons est rassemblé dans le Vol. 2, Part. IV, fig. 1a à 1f).

1- Le forage CR2 (Vol. 2, Part. I, fig. 4).

Un âge Hauterivien inférieur (terminal) à Hauterivien supérieur est attribué à l'échantillon CR2-1 par la présence d'une espèce d'Ostracode, *Schuleridea extraena* (n° 44, Vol. 2, Part. IV, fig. 3,4).

Le contenu fossilifère des autres échantillons ne permet pas de datation précise.

2- Le forage CR3 (Vol. 2, Part. I, fig. 5).

Quatre échantillons (1, 4, 8, 14) ont livré une microfaune et / ou une microflore. Trois espèces d'Ostracodes (*Metacytheropteron wassyensis*, *Parasternbergella amygdaloïdes*, *Schuleridea bilobata*; n° 23, 29, 42, Vol. 2, Part. IV, fig. 3, 4) ont permis de donner à l'échantillon CR3-1 un âge Barrémien inférieur. Il est à noter la présence de *M. wassyensis* qui est restreint au Barrémien inférieur d'après la stratigraphie du Bassin de Paris (Colin J.P., correspondance manuscrite).

La microflore de l'échantillon CR3-4, en particulier la présence de *Concavissimisparites punctatus* (n° 13, Vol. 2, Part. IV, fig. 6, 7) lui donne un âge Valanginien au moins (Batten D.J., 1987); les limites supérieure et inférieure ne sont pas précisées. Dans l'échantillon CR3-14 on note la présence de *Verrucorisporites obscurilaesuratus* (n° 33, Vol. 2, Part. IV, fig. 6,7) qui apparaît à la limite Jurassique- Crétacé et qui se rencontre, au moins, jusqu'au Barrémien inférieur (Herngreen, 1970).

Un "âge restreint" Berriasien supérieur à Hauterivien supérieur est indiqué pour l'échantillon CR3-8 avec la présence d'une espèce de Dinoflagellé, *Oligosphaeridium complex* (n° 19, Vol. 2, Part. IV, fig. 9,10), (Vol. 2, Part. IV, fig. 15).

3- Le forage CR15 (Vol. 2, Part. I, fig. 7).

La présence d'Ostracodes dans les échantillons 24, 7, 1 et 2 a permis de les dater. Les niveaux 7, 1 et 2 appartiennent à la "Couverture Wealdienne" ou C.W. de Gaz de France tandis que le niveau 24 se situe une dizaine de mètres au-dessus du toit de la formation wealdienne. La faune d'Ostracodes est composée de *Parasternbergella amygdaloïdes*, (n° 29), échantillon 24; de *Schuleridea extraena*, (n° 44), échantillon 7; de *P. amygdaloïdes* (n° 29) et *S. extraena* (n° 44), échantillon 1; de *P. amygdaloïdes* et *S. virginis* (n° 29 et 47), échantillon 2, (Vol. 2, Part. IV, fig. 3, 4). L'ensemble de ces résultats (Vol. 2, Part. IV, fig. 16) indique un âge Barrémien inférieur pour l'échantillon 24 si l'on considère la zone "d'extension concomitante" incluant la présence de dents de Sélaciens, *Lissodus sp.* (Gayet, correspondance manuscrite), dont l'extension verticale s'étend du Jurassique supérieur au Crétacé supérieur mais "connaissant l'origine, on peut préciser et je pense qu'il s'agit du Crétacé inférieur, peut-être même du Barrémien (Capetta, *in litt.*).

L'âge des échantillons 7, 1, 2 est compris entre l'Hauterivien moyen et le Barrémien inférieur. Un âge correspondant à la limite Hauterivien - Barrémien est envisageable.

4- Le forage CR7 (Vol. 2, Part. I, fig. 6).

La présence d'une espèce d'Ostracodes *Metacytheropteron wassyensis* (n° 13, Vol. 2, Part. IV, fig. 3, 4), restreinte au Barrémien inférieur permet d'y rattacher l'échantillon n° 22. Les dents de Sélaciens, *Hybodus sp.*, dans l'échantillon n° 24 indique un âge Barrémien inférieur (Gayet, correspondance manuscrite).

La microflore de l'échantillon n° 14, *Aequitriradites spinulosus*, *Concavisparites punctatus*, *Cyathidites minor* et *Matonisporites phleopteroides*, (n° 3, 13, 16, 22, Vol. 2, Part. IV, fig. 6, 7) ne permet pas d'obtenir un âge plus précis que Valanginien à Albien inférieur. Les Dinoflagellés de l'échantillon n° 2 "donnent" un "âge étendu" Valanginien supérieur à Barrémien inférieur et un "âge restreint" Valanginien supérieur à Hauterivien supérieur basal avec *Achonospaera neptuni*, *oligosphaeridium complex*, *pseudoceratium pelliferum* et *Subtilisphaera perlucida* (n° 3, 19, 24, 28, Vol. 2, Part. IV, fig. 9, 10). L'échantillon n° 1, riche de six espèces d'Ostracodes, *Costacythere frankei*, *Metacytheropteron houpettensis*, *M. wassyensis*, *Parasternbergella amygdaloïdes*, *Schuleridea bernouillensis*, *S. extraena* (n° 7, 22, 23, 29, 41, 44, Vol. 2, Part. IV, fig. 3, 4) ne permet pas d'obtenir d'âge aussi bien "restreint" qu'"étendu" en utilisant la méthode des zones d'"extension concomitante". En effet, dans ce niveau on trouve simultanément des espèces d'Ostracodes caractéristiques de l'Hauterivien (n° 7, 22, 44) et une espèce restreinte au Barrémien inférieur (n° 23), (Colin J.P., correspondance manuscrite). Par contre deux espèces de Dinoflagellés, *Oligosphaeridium complex* et *Subtilisphaera perlucida* (n° 19, 28, Vol. 2, Part. IV, fig. 9, 10) indiquent un "âge étendu" Valanginien supérieur à Albien et un âge restreint Valanginien supérieur à Hauterivien supérieur, (Vol. 2, Part. IV, fig. 17).

5- Conclusion.

Les résultats micropaléontologiques confirment aux puits CR16, CR2, CR3 et CR15 les limites chronostratigraphiques Valanginien - Hauterivien - Barrémien. Au puits CR3, l'échantillon n° 14 tend à confirmer le repère diagraphique pris en compte pour fixer la limite Jurassique - Crétacé. La limite Barrémien inférieur - Barrémien supérieur est plus incertaine. Elle est placée au toit de la "Couverture Wealdienne" qui peut être considérée, par sa faune d'Ostracodes (Colin, correspondance manuscrite), comme l'équivalent des "Argiles

Ostréennes" des auteurs. Elle pourrait être placée un peu plus haut au CR7 puisqu'une faune semblable a été trouvée dans l'échantillon CR7-22.

Le forage CR7 se distingue également par l'échantillon n° 1, rattaché au Barrémien inférieur par Gaz de France, dans lequel on trouve conjointement une microfaune exclusivement hauterivienne et une microfaune restreinte au Barrémien d'après ce qui est connu de la stratigraphie du Bassin de Paris au Crétacé (Colin, 1985). Un remaniement peut être envisagé. Enfin, la limite Hauterivien - Barrémien ne peut être précisée puisque les Dinoflagellés de l'échantillon CR7-2 indiquent un âge trop large Valanginien supérieur à Hauterivien supérieur basal.

C- Utilisation des faciès et des électrofaciès.

1- Le faciès.

La coupe lithologique du faciès wealdien du puits CR16 (Vol. 2, Part. I, fig. 8) se retrouve en chacun des autres forages avec de faibles variations, notamment en ce qui concerne les épaisseurs (Vol. 2, Part. I, fig. 21a) et les lithofaciès.

Les limites chronostratigraphiques, initialement établies au moyen de corrélations diagraphiques, à partir du CR16 ont été contrôlées par l'étude de la microfaune et de la microflore. Les limites ainsi définies se sont avérées exactes pour les forages CR2, CR3, CR15.

La limite Valanginien - Hauterivien au CR7 (Vol. 2, Part. I, fig. 6) pose quelques problèmes. Elle se situe à 926,8 m pour l'I.F.P. et à 934 m pour G.D.F.. Les analyses micropaléontologiques ne m'ont pas permis de trancher. J'adopterai la position de Gaz de France en raison de la présence du 1er banc carbonaté à 934 m. Ceci étant précisé, il est possible de comparer la puissance des dépôts wealdiens dans leur entièreté ainsi que étage par étage. Dans ce dernier cas de figure j'ai regroupé les étages Hauterivien et Barrémien inférieur pour des raisons d'unicité des mécanismes de dépôt :

- Les épaisseurs (Vol. 2, Part. I, fig. 21) totales sont relativement homogènes (82 m en moyenne) à l'exception du CR3, implanté dans la région sommitale de l'anticlinale, qui présente une surépaisseur de l'ordre de 5 m (86,8 m);

- La même observation peut être faite en ce qui concerne la puissance des dépôts valanginiens et hauterivien - barrémien inférieur. Le Valanginien constitue 51 % des dépôts aux puits CR16, CR15, CR7 et 57 % aux puits CR3, CR2.

On retrouve une alternance de niveaux "réservoirs" et de niveaux "couvertures"; certains bancs argileux (C.W., C1, C2, Vol. 2, Part. I, fig. 3 à 8) sont continus à l'échelle de la zone d'étude isolant ainsi, comme l'ont montré des tests de débit de l'eau de formation, trois niveaux à alternances de sables et d'argiles dont on ne peut préjuger une continuité simple.

Les lithofaciès ne diffèrent que par leur argilosité (reflétée par l'intensité de la déflexion de la courbe Gamma-Ray), par l'abondance des niveaux carbonatés ainsi que par la fréquence de minéraux accessoires et corps figurés. C'est ainsi que :

- Le Valanginien est globalement moins argileux que l'Hauterivien et le Barrémien inférieur. Les débris ligniteux sont très abondants; la pyrite qui se présente en cristaux millimétriques à centimétriques et localement sous forme de framboïdes est très fréquente;

- L'Hauterivien et le Barrémien inférieur se caractérisent par la présence, variable et plus ou moins précoce selon le forage, de bancs carbonatés (gréso-calcaires, argilo-calcaires), de Lamellibranches entiers ou cassés, d'oolithes ferrugineuses et de "glauconie". Le premier banc carbonaté souligne la limite Valanginien - Hauterivien.

2- Les électrofaciès.

Les trois bancs argileux susceptibles d'être continus sur le site de Germigny-sous-Coulombs (C.W., C1, C2) ont été caractérisés par leur électrofaciès. Celui-ci est un équivalent du faciès et correspond à "la somme des caractères diagraphiques enregistrés que présente un dépôt en un point donné", (Teichert, 1958).

L'électrofaciès est constitué de six axes (fig. 35) dans un même plan, formant des angles égaux. Chacun des axes correspond à une diagraphie électrique sur lequel est "pointé" la valeur du paramètre correspondant lue sur les "logs électriques" en face de l'électrobanc considéré. Deux figures géométriques apparaissent en raison de l'hétérogénéité des électrobancs, deux lectures ont été réalisées (fig. 35) :

- valeurs maximales des paramètres pour la figure externe;
- valeur minimale des paramètres pour la figure interne;

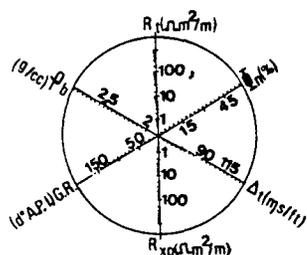
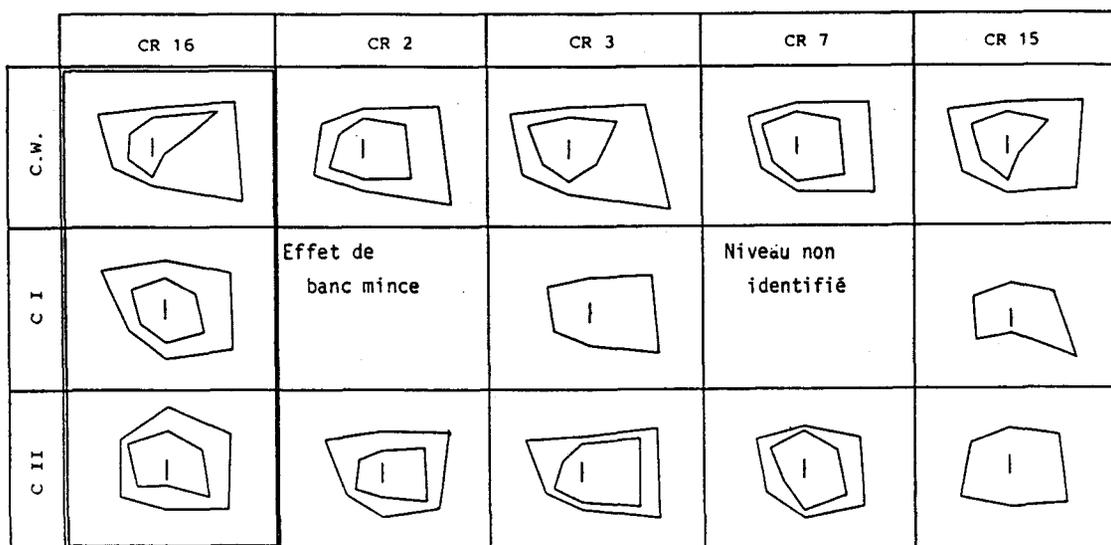


Fig. 35.- Electrofaciès des bancs C.W. (Couverture Wealdienne), C1 et C2 des puits CR2, CR3, CR7, CR15, CR16.

Fig. 35.- Electrofaciès of the beds C.W. (Wealden cap rock), C1 and C2 of the wells CR2, CR3, CR7, CR15, CR16.

Les paramètres pris en considération sont (fig. 36) :

- la résistivité profonde (R_t) en $\Omega m^2 / m$;
- la résistivité peu profonde (R_{x0}) en $\Omega m^2 / m$;
- la densité globale (ρ_b) en g / cm^3 ;
- le temps de propagation du son (Δt) en $\mu sec / foot$;

- la porosité apparente (Φ_N) en %;
- la radio-activité (G.R.) ou degrés A.P.I..

	CR 2			CR 3			CR 7			CR 15			CR 16		
	C.W.	C _I	C _{II}												
Profondeur moyenne (m)	853	884	903	890	922	940	897		944	819	852	865	925	957	975
Gamma Ray A.P.I.	120 80		90 68	113 63	85 79	90	92 62		100 53	112 63	90	126	100 60	93 63	115 72
Densité (g/cc)	2.36 2.15		2.55 2.13	2.58 2.35	2.36 2.10	2.53	2.46 2.30		2.46 2.28	2.59 2.30	2.31	2.34	2.52 2.14	2.65 2.28	2.44 2.35
Résistivité profonde m2/m (Rt)	11 4		14 2	18 5	6 4	7	19 6		20 10	20 6	8	9	10 4	28 5	90 10
Résistivité proche m2/m (Rxo)	11 4		14 2	18 5	6 3	8	18 6		20 10	20 7	8	9	10 4	28 5	9 0,9
Porosité neutron (%)	38 28		48 28	53 32	43 40	52	51 29		38 21	54 28	30	35	56 43	43 19	42 22
Temps de parcours du son (#sec/ft)	147 96		109 94	160 70	123 108	132	133 96		110 90	125 54	120	110	145 53	119 85	111 90

C.W. = couverture wealdienne

C_I = couverture n° 1 ; base de l'Hauterivien

C_{II} = couverture n° 2 ; infra-valanginienne

X/Y = X : valeur maximale ; Y : valeur minimale

Fig. 36.- Tableau des lectures des diagraphies différées (Gamma Ray, Densité, Résistivités, Porosité, Sonic) pour l'établissement des électrofaciès.

Fig. 36.- Readings of the electrical Logs (Gamma Ray, Density, Resistivities, Porosity, Transit time), used to establish the electrofaciès.

Au CR16, (fig. 35), les électrofaciès des bancs argileux C.W., C1, C2 montrent des figures nettement différentes par :

- la forme des enveloppes;
- la taille relative de celles-ci délimitant une "couronne".

Le banc C.W. est représenté par un hexagone externe allongé est - ouest et d'un hexagone interne sensiblement orienté NE - SW définissant une "couronne" bien développée à l'Est - Sud-Est. Le banc C1 est représenté par deux hexagones à côtés sensiblement parallèles, à couronne réduite et régulière; l'orientation générale est E-SE - W-NW. Le banc C2 est représenté par deux hexagones sub-réguliers à couronne réduite.

Les trois bancs argileux ainsi définis présentent une signature diagraphique différente. Les argiles correspondantes se sont déposés dans trois environnements différents dont le sédiment renferme l'empreinte.

Si l'on regarde ce qui se passe aux autres forages (fig. 35), on constate une bonne homogénéité de la signature diagraphique du banc C.W.. Il en est de même pour le banc C2 qui

se caractérise par une certaine régularité des hexagones externe et interne à l'exception du forage CR7.

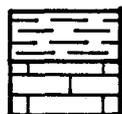
Au puits CR15 un seul hexagone est représenté pour l'électrobanc C2 car l'homogénéité du banc argileux n'a permis qu'une seule lecture par paramètre. On retrouve néanmoins la régularité de la figure propre à ce banc.

La même remarque est valable pour le banc C1 aux puits CR3 et CR15 : de même qu'au puits CR16 on retrouve un allongement E-SE - W-NW. D'autre part, les électrofaciès représentés par une seule lecture s'inscrivent parfaitement et exclusivement dans les couronnes du niveau correspondant défini au puits CR16. Ceci justifie donc les corrélations définies précédemment et permet de supposer la continuité de ces trois bancs au moins.

D- Utilisation des minéraux argileux.

J'ai utilisé le rapport Illite (%) / Kaolinite (%) pour étudier l'évolution des assemblages argileux, du Purbeckien au Barrémien inférieur. Je n'ai considéré que les échantillons pour lesquels la fraction argileuse est essentiellement "héritée" c'est-à-dire, des niveaux où l'argilosité (Q_A) (cf Chap. III, I, B, 2) est supérieure à 50 % et / ou la porosité (cf Chap. IV, V, B, 2) est inférieure à 19 %.

Les résultats sont présentés sous forme de logs (fig. 37). Les localisations des échantillons sont relatives.



argile; "Wealdien"

carbonates; "Purbeckien"

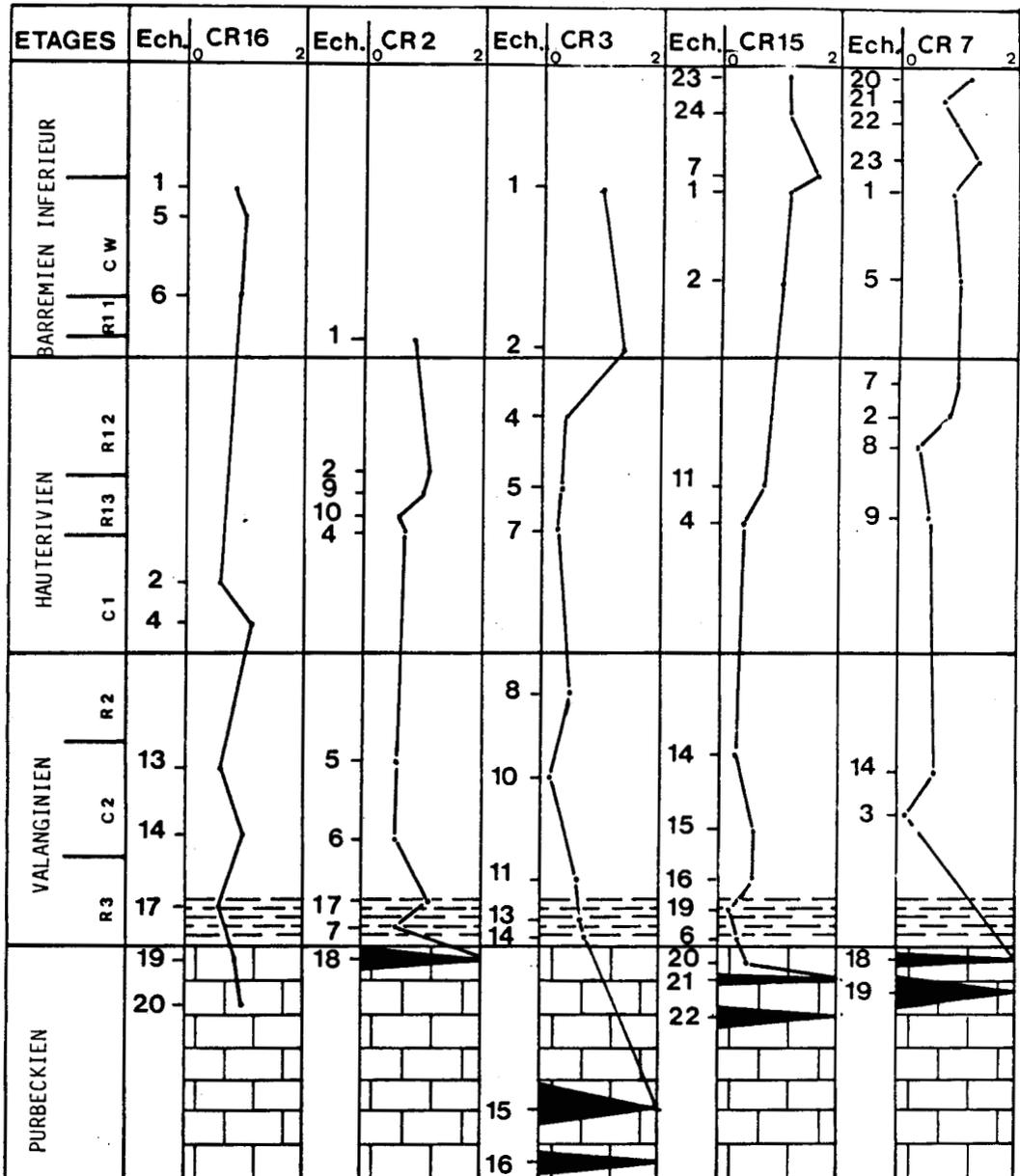


Fig. 37.- Site de Germigny-sous-Coulombs. Représentation en fonction de la profondeur du rapport Illite (%) / Kaolinite (%). Echelle 0-2; Les valeurs supérieures à 2 sont représentées en noir; la largeur est proportionnelle à la valeur du rapport.

Fig. 37.- Site of Germigny-sous-Coulombs. Variations of the ratio Illite (%) / Kaolinite (%), versus depth. Scale 0-2. The values greater than 2 are plotted in black ink. The width is proportional to the value of the ratio.

On observe, dans le "Purbeckien" des valeurs très élevées du rapport (I/K), supérieures à 2, un chute brutale à l'entrée dans le "Valanginien" et une légère remontée à l'Hauterivien supérieur-Barremien inférieur. Parallèlement on note dans des échantillons à rapport (I/K) élevé (CR2-18, CR3-15, CR7-18, CR7-19, CR15-21, CR15-22) la présence de smectite et un indice de cristallinité de l'illite très élevé (≤ 6). L'ensemble de ces trois paramètres (I/K, *I et Q_{Sm}) permet de différencier les échantillons précités de tous les autres, qui sont globalement attribués au Crétacé.

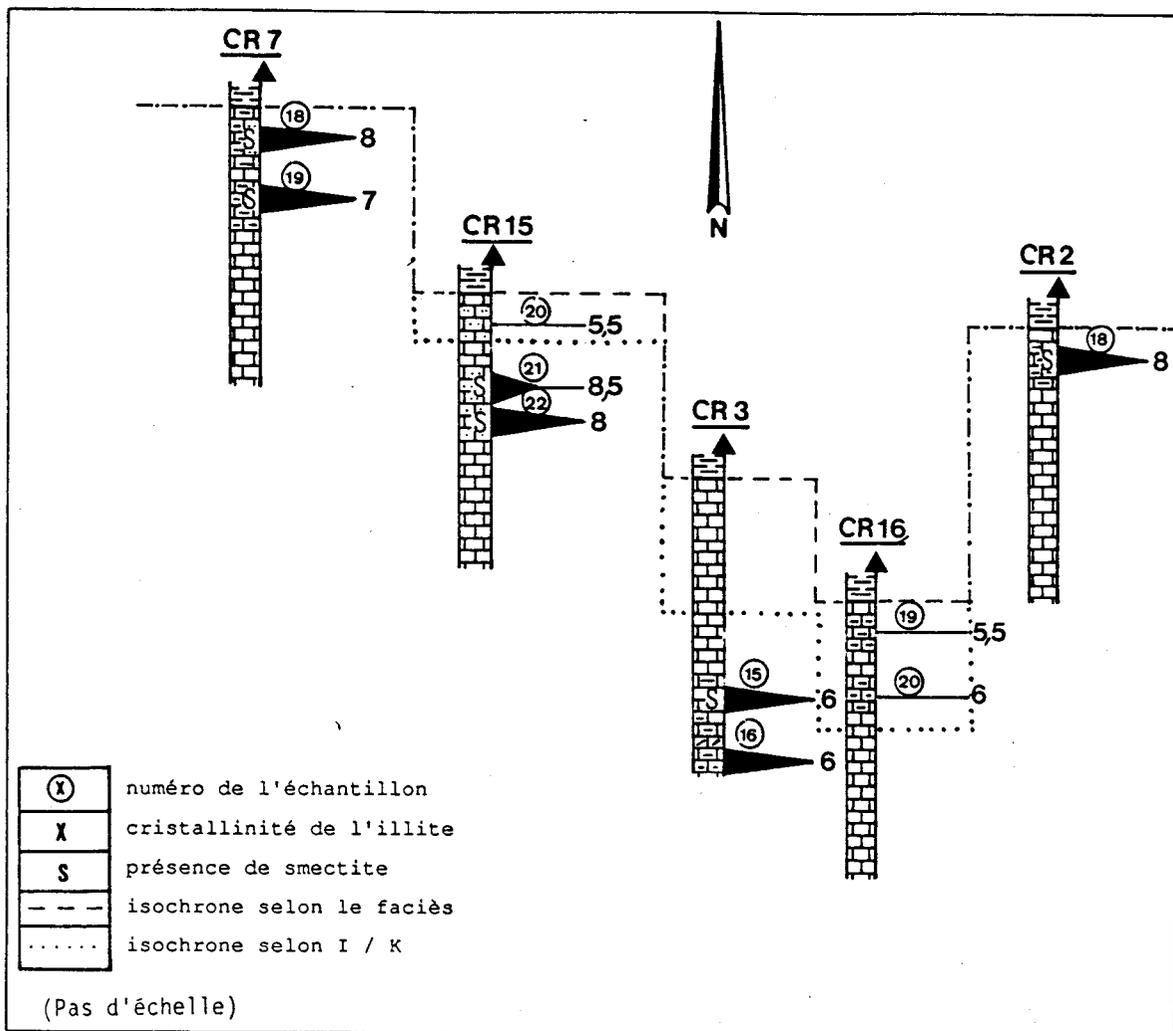


Fig. 38.- Site de Germigny-sous-Coulombs. Positions géographiques relatives des 5 sondages. Le lithofaciès est indiqué au voisinage de la "limite" Jurassique - Crétacé (— —) ainsi que les numéros des échantillons attribués au "Purbeckien", (X) pour lesquels sont signalés la présence éventuellement de smectite, S; l'indice de cristallinité de l'illite, X; et la valeur du rapport I / K (— si I / K < 2 et ► si I / K > 2). En pointillés est reportée la limite Jurassique - Crétacé en se basant sur la valeur de I / K.

Fig. 38.- Germigny-sous-Coulombs site. Relative locations of the five wells. The lithofaciès are indicated closed to the Jurassic - Cretaceous limit according to Gaz de France (— —). (X) = number of the sample; X = crystallinity index of illite; S = smectite; — = I / K < 2; ► I / K > 2; the dotted line corresponds to the Jurassic - Cretaceous limit on the base of the I / K ratio.

Une éventuelle relation de cause à effet entre les observations précédentes et le faciès des échantillons a été vérifiée. Je n'ai observé aucune relation de ce type.

L'abondance de l'illite, son indice de cristallinité (*I) plus élevé et la présence de smectite (Q_{Sm}) ont été fréquemment signalés dans la littérature traitant des assemblages argileux du "Purbeckien" et / ou du Crétacé inférieur, (Parker, 1974; Sellwood et Sladen, 1981; Sladen, 1983; Sladen et Batten, 1984; Deconninck *et al*, 1987, 1988), dans des secteurs qui encadrent la présente zone d'étude (Yorkshire, Wessex-Weald, Europe du Nord-Ouest, Jura français et suisse).

On peut donc envisager, sur le site de Germigny-sous-Coulombs / Crouy-sur-Ourcq, de distinguer le Jurassique supérieur du Crétacé inférieur par sa richesse en une illite mal cristallisée et la présence de smectite. Sur la base de cette considération, deux cas se présentent (fig. 38) :

- soit les isochrones utilisant les lithofaciès sont correctes. Alors les variations observées dans les assemblages argileux pour les niveaux corrélables (CR16-19 et 20; CR2-18; CR15-20, 21 et 22; CR7-18 et 19) pourraient s'expliquer, par exemple, par des milieux de sédimentation différents et à des authigénies, (Deconninck, 1987 et 1988);

- soit les isochrones sont incorrectes, et dans ce cas il convient de placer la limite Jurassique -Crétacé à l'apparition d'une forte proportion d'illite mal cristallisée et de smectite. On observe (fig. 38) que, selon la localisation géographique du sondage, il faut abaisser ou maintenir les limites antérieurement admises :

- maintien aux puits situés au NW (CR7) et au NE (CR2);

- abaissement de plus en plus important en se dirigeant vers le SE. Au CR15, la limite se situerait entre les niveaux 20 et 21. Aux CR3 et CR16 la fixation de la limite Jurassique - Crétacé est plus délicate à préciser. Néanmoins, ces deux sondages étant les plus méridionaux, on peut envisager un passage Jurassique - Crétacé (par projection de la localisation des échantillons de l'un des sondages sur l'autre puisque les positions relatives des niveaux sont respectées) relativement bas, au-dessous du niveau 20 (CR16) et au-dessus du 15 (CR3). Aux sondages CR15, CR3 et CR16 le Crétacé inférieur basal serait carbonaté. Pour trancher définitivement il serait nécessaire de compléter l'échantillonnage dans ces niveaux et de rechercher de la microfaune et / ou de la microflore.

E-Conclusion.

Ces résultats apportent des arguments paléontologiques et électrofaciologiques aux limites et aux corrélations adoptées par Gaz de France pour des étages Valanginien, Hauterivien et Barrémien inférieur.

L'utilisation des cortèges argileux apporte un argument supplémentaire pour la limite Hauterivien - Barrémien, par l'augmentation du rapport (I / K), (Sladen C.P., 1983), notamment au puits CR7 où les résultats paléontologiques laissent planer un doute. Mais, toutefois, leur usage comme outil chronostratigraphique soulève deux questions :

- la fixation de la limite Jurassique - Crétacé sur des arguments uniquement faciologiques est-elle valable dans ce secteur ?

- dans la partie la plus méridionale du site de Germigny-sous-Coulombs et avec des grandes possibilités de variations latérales, le Crétacé inférieur basal ne pourrait-il pas être carbonaté ?

IV- ANALYSE DES COMPOSANTS DU SEDIMENT.

Lors de la recherche de microfaune des éléments figurés sous forme de pelotes sphériques, oblongues, voire discoïdes de teintes rouille (éch. CR2-2, CR2-3, CR15-1, CR15-2, CR15-7, CR15-8, CR16-5), verte (éch. CR2-2, CR2-12, CR15-8), blanchâtre (éch. CR2-11) ont été isolés (Vol. 2, Part. I, fig. 3 à 8). Ce sont les "oolithes" selon Gaz de France. Elles ont été étudiées à partir de l'observation de lames minces, par analyse à la microsonde et par la réalisation de diffractogrammes de R.X. sur des poudres et sur des pâtes orientées. L'analyse par diffractométrie des argiles a mis en évidence la présence de minéraux accessoires (abondance relative inférieure à 5 %) tels que des feldspaths, de la goethite et de la jarosite. La diffraction des R.X. a été également employée (éch. CR16-7) pour déterminer la nature de la "glauconie" des "sables verts glauconieux" (*in* Gaz de France)...

A- les éléments figurés.

1- Morphologie.

Les éléments figurés, que je rassemblerai sous le terme de pelotes, sont, selon la classification de Berthois (1975), des grains non squelettiques de différents types :

- des ooïdes (62 μ m à 1mm), avec nucleus, surface convexe par rapport au noyau et laminations corticales qui tendent à régulariser la morphologie du nucleus (ooïdes de type α);
- des pelotoïdes ou peloïdes, sans nucleus, ovoïdes à cylindriques de taille inframillimétrique à millimétrique;
- des plaquettes, triangulaires, parallélépipédiques d'épaisseur inframillimétrique et d'arêtes parfois plurimillimétriques.

Seuls les éléments figurés rouilles présentent les trois morphologies précitées, les grains verts et blancs ne se rencontrent pas sous forme de plaquette.

2- Composition minéralogique.

Les analyses diffractométriques donnent, pour les pelotes rouilles, une composition minéralogique constituée de 95 % d'hydroxyde de fer Fe-O-OH (goethite), 4 à 5 % d'oxyde de fer Fe₂O₃ (hématite); le complément est représenté par du quartz. Les pelotes vertes "seraient" composées essentiellement d'une berthiérine et accessoirement de goethite et de calcite. Le conditionnel est imposé par la présence uniquement de trois pics caractéristiques des berthiérines (7,08 Å, 3,52 Å et 2,45 a), (fig. 39). Les pelotes blanches n'étaient pas en quantité suffisante pour ce type d'analyse.

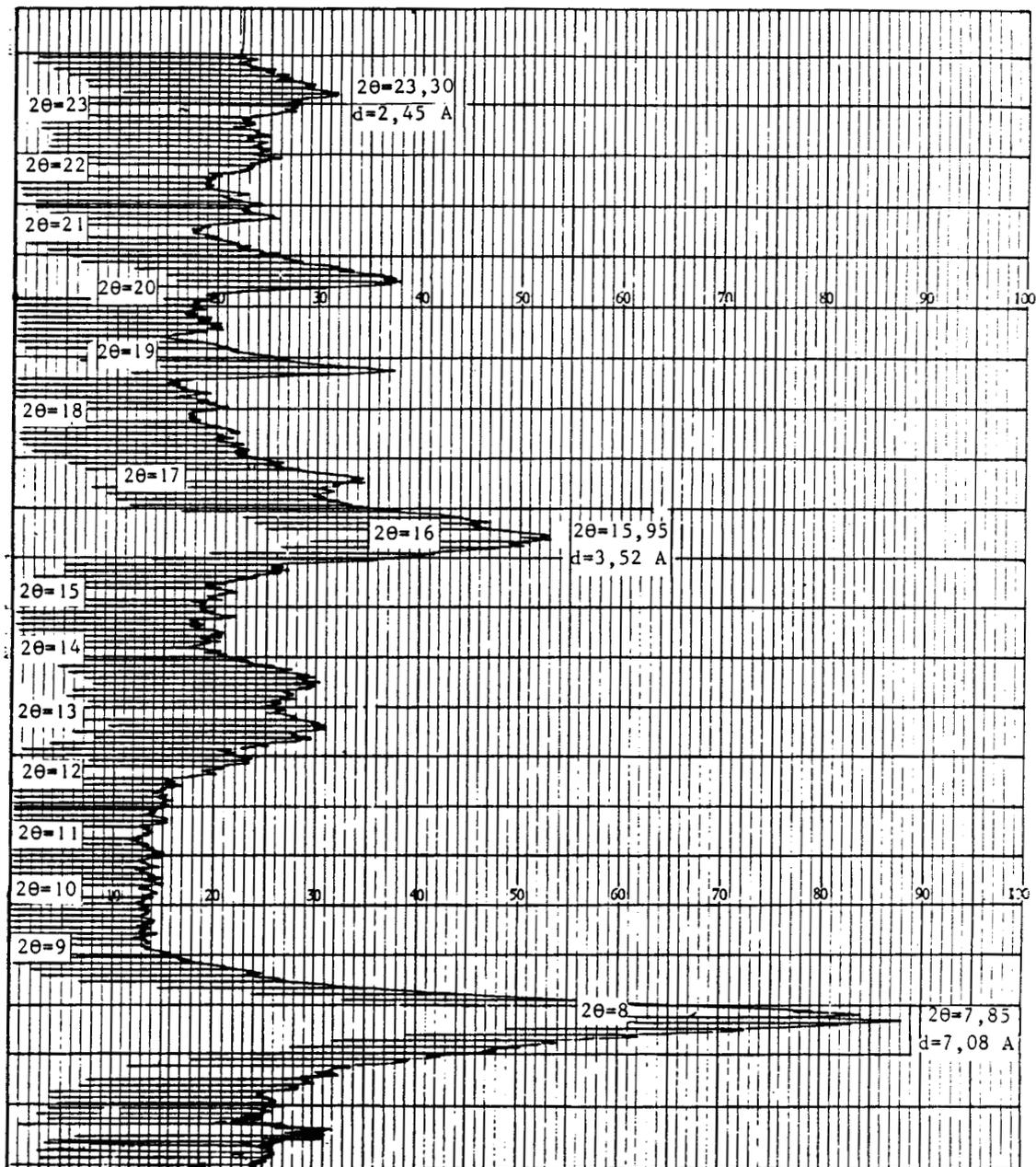


Fig. 39.- Diffractogramme de R.X. sur les oïdes vertes ($K\alpha$ Fe).

Fig. 39.- Diffractogram of the green ooids ($K\alpha$ Fe).

Les analyses par microsonde ont été réalisées sur les trois types de pelotes. Pour chacune d'entre elles les mesures ont été effectuées sur trois zones qualifiées respectivement de "centrale", "intermédiaire", "périphérique", et, parfois, sur des secteurs de la pelote qui se distinguaient, uniquement sur des critères visuels, de l'aspect général de la pelote considérée. Les résultats quantitatifs sont calculés en poids d'oxyde (Vol. 2, Part. 0, fig. 22 à 26). Des constituants tels que l'anhydride carbonique (CO_2), le soufre, ainsi que l'eau ne sont pas dosés ce qui donne des totaux inférieurs à 100. Les trois éléments majeurs (calcium, aluminium et fer total) ont été recalculés en ramenant les totaux à 100 afin de permettre des

comparaisons entre les différentes pelotes et les différentes zones. Des valeurs moyennes par secteur ont également été calculées (fig. 40). Les résultats montrent :

- sur les valeurs globales, un appauvrissement sensible en calcium des pelotes blanches aux pelotes vertes et rouilles compensé par un enrichissement en fer total surtout et en aluminium accessoirement;

- sur les valeurs moyennes, par zone, montrent peu de variations, si ce n'est une légère diminution de calcium et une augmentation de fer total de la zone centrale à la zone périphérique;

- que la proportion des constituants non dosés, l'eau essentiellement, est plus faible pour les pelotes rouilles;

	Blanc				Vert				Rouille			
	Ce	ZI	Co	\bar{X}	Ce	ZI	Co	\bar{X}	Ce	ZI	Co	\bar{X}
Ca	87,60	89,37	86,25	90,59	88,77	92,45	87	87,50	. 37	. 42	. 35	
	93,75	92,80	93,60		93,30	76,65	76,50		. 35			
	92,40		89		90,09				. 27			
					93,2							
					88,74							
	91,25	91,08	89,61		91,03	88,39	81,75		. 33	. 42		
Fe	4,14	3,78	4,80	4,44	5,69	6,02	6,07	5,87	71,08	64,22	73,44	
	3,02	5,17	4,95		5,76	6,85	10,23		79,15			
	5,18		4,52		3,75			79,32				
					4,33							
					4,15							
	4,11	4,47	4,75		5,72	5,02	8,15		76,52	64,22		
Al	3	2,13	2,98	1,54	1,53	. 3	2,09	2,02	7,41	8,83	7,44	
	. 78	0,43	. 30		0,06	5,62	4,13		5,51			
	. 56		2,10		1,62			7,99				
					. 66							
					2,18							
	1,45	2,48	1,79		. 80	2,07	3,11		6,97	8,83		

Ce = Centre
 ZI = Zone Intermédiaire
 Co = Couronne

Fig. 40.- Taux de calcium, de fer et d'aluminium (ramenés à 100) des différents secteurs (centre, zone intermédiaire, couronne) des différents oïdes ainsi que leurs taux moyens respectifs (X).

Fig. 40.- Abundances in calcium, iron and aluminium (in percent) of the different areas (center, Ce; medium zone, ZI; surrounding, Co) according to the color of the ooids.

- que les mesures réalisés sur des secteurs blancs (tâches ou anneaux) (fig. 41) présentes dans les pelotes vertes indiquent une composition globale comparable à celles des pelotes blanches.

La répartition des pelotes, en fonction de leur couleur (\varnothing moyen = 500 μ m) est indépendante de la granulométrie et de la lithologie du sédiment qui les renferme (fig. 42). On les trouve indifféremment dans des sables (éch. CR16-9), des argiles (éch. CR2-2, CR15-1, CR15-2, CR16-5), des grès à ciment calcaire (éch. CR2-11, CR15-8) ou des calcaires (éch. CR15-7). De même on n'observe pas de relation entre la composition minéralogique des pelotes et les cortèges argileux ou le taux de carbonates dans la mésostase. Cette indépendance est nette au puits CR16 puisque seules des pelotes rouilles ont été isolées et ceci dans des

Finalement on constate une apparition de plus en plus tardive et en fréquence décroissante selon une direction générale Sud-Est - Nord-Ouest. L'étude détaillée de l'ensemble des forages (près de trente) de Germigny-sous-Coulombs a permis, en outre de dresser une carte (fig. 43), de répartition des pelotes. On met ainsi en évidence la succession, du Sud-Est vers le Nord-Ouest de trois secteurs :

- secteur I, à pelotes abondantes;
- secteur II, à pelotes éparées;
- secteur III, dépourvu de pelotes.

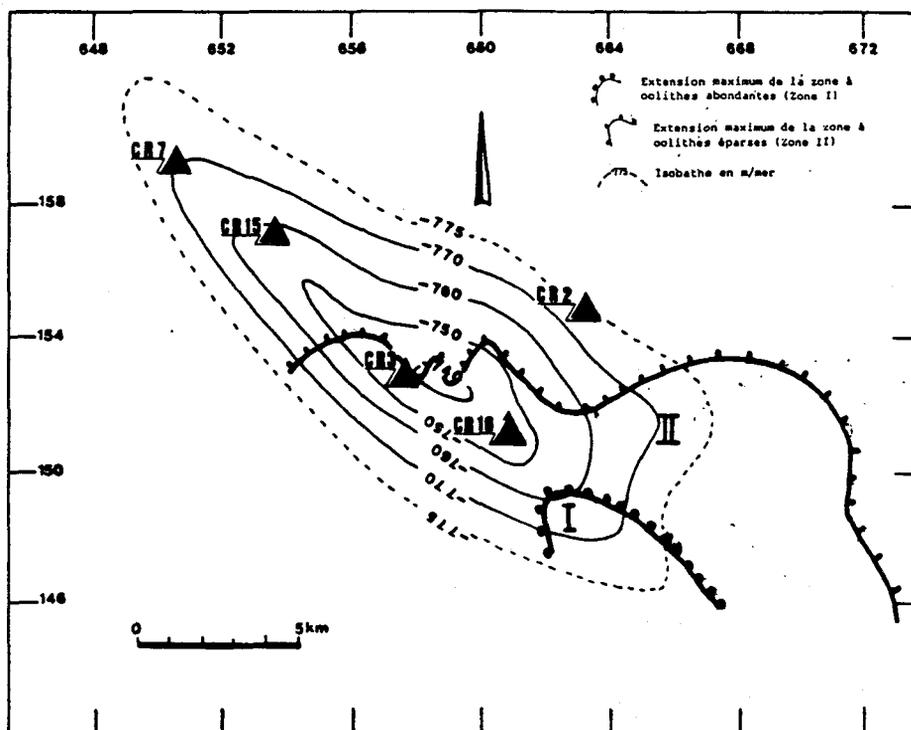


Fig. 43.- Site de Germigny-sous-Coulombs. Extension des aires à oolites en fonction de leur abondance relative.

Fig. 43.- Site of Germigny-sous-Coulombs. Extension of the "oolitic area" as a function of the abundance of the ooids.

B- Les minéraux accessoires.

Les principaux minéraux accessoires sont les feldspaths alcalins (pics compris entre 3,18 et 3,25 Å), les feldspaths potassiques (pics compris entre 3,26 et 3,30 Å), la jarosite (pics compris entre 5,60 et 5,75 Å) identifiés sur les diffractogrammes des argiles, la pyrite sous forme de cristaux ou de framboïdes, du gypse dispersé sous forme de petites pastilles millimétriques, de la muscovite, un minéral vert ("glauconie) et des amas de jarosite observés à la loupe binoculaire.

contre on ne retrouve pas une moins bonne cristallinité de l'illite, ce à quoi on aurait pu s'attendre si ce minéral avait participé à la formation de jarosite.

	Moyenne générale	Moyenne sur les échantillons à jarosite	Moyenne sur les échantillons sans jarosite
Carbone organique (%)	1,32	1,28	1,41
I (%) / K (%)	1,06	0,65	1,16
Cristallinité de l'illite	4,58	4,40	4,62

Fig. 44.-Relation entre les taux de carbone organique, le rapport I (%) / K (%) et la cristallinité de l'illite d'une part et la présence de jarosite d'autre part. Valeurs moyennes sur l'ensemble des échantillons.

Fig. 44.- Relation between the percentage of the organic carbon, the ratio Illite (%) / Kaolinite (%) and the cristallinity index of illite, first, and the occurrence of jarosite, second.

3- Le problème de la "glauconie".

a- Introduction.

Les termes "glauconie" et "glauconeux" sont employés par Gaz de France pour décrire les niveaux de couleur verte ainsi que les pelotes vertes vues précédemment.

Il s'agit, en fait dans les argiles, d'une coloration diffuse dans la masse tandis que dans les sables on constate qu'après lavage pour éliminer la fraction argileuse, sous binoculaire, la coloration est due à un enduit vert qui tapisse les grains de quartz. Différents habitus ont été rencontrés :

- pelotes vertes associées à des pelotes rouilles (éch. CR2-2);
- pelotes vertes et pelotes rouilles cimentées par une mésostase verte (éch. CR2-3, CR7-12);
- pelotes rouilles dans des argiles vertes (éch. CR3-1, CR7-4, CR15-2, CR15-8, CR16-5, CR16-9, CR16-10);
- niveaux argileux, sableux ou argilo-sableux verts (éch. CR2-4, CR2-10, CR3-6, CR3-9, CR7-1, CR7-6, CR7-11, CR15-3, CR15-4, CR15-9, CR15-12, CR16-6, CR16-7, CR16-11).

b- généralités.

La lecture de nombreux ouvrages traitant en tout ou partie de la "glauconie" montre qu'une certaine confusion persiste quant à la nature minérale exacte de la substance verte se présentant soit sous forme de granules soit de colorant dans les sédiments.

Le terme de "glauconie" a été proposé par Brongniart (1823). Une structure minérale voisine de celle des micas a été établie par Gruner (1935) tandis que la formule structurale s'approche de celle des illites. Burst (1956, 1958 et 1958) distingue quatre catégories de "glaucopies" :

- la glauconite correspondant à la phyllite dioctaédrique de Gruner; c'est une structure régulière 1M;
- un groupe monominéral et micacé se différenciant de la glauconite par un empilement monoclinique désordonné (structure 1Md);
- un groupe de minéraux interstratifiés où la montmorillonite alterne avec un minéral à 10 Å (interstratifié 10 - 14_S);
- un mélange de minéraux constitué, selon le cas, d'illite, de montmorillonite, de chlorite et / ou d'interstratifiés divers.

Pour Odin et Giresse (1973) le terme de "glauconie" recouvre essentiellement une notion de faciès (coloration verte, aspect granulaire varié) associée à une nature minéralogique variable (Burst 1958a). Ceci conduit les sédimentologues à parler de glaucopies variées (Millot, 1964) en fonction de la nature minéralogique qui serait en relation avec la durée du gisement sur le fond marin avant l'enfouissement (Hower, 1961; Odin, 1971). Odin et Giresse (1973) distinguent les glaucopies types telles que la glauconite et les interstratifiés à illite - vermiculite dont la minéralogie caractérise un milieu marin ouvert à taux de sédimentation faible et des granules verts (ou gris ou ocres) différents des glaucopies dans lesquels ils rangent les granules de berthiérine qui sont caractéristiques d'un milieu deltaïques à salinité, pH ou Eh variables et à sédimentation active.

J'adopterai la nomenclature proposée par Odin (1968) qui distingue :

- la glauconite, désignant un minéral homéotype ferrique de l'illite dont la structure a été définie par Gruner (1935);
- la glauconie, qualifiant des granules verts dont l'analyse diffractométrique révèle la structure du minéral glauconite mais plus ou moins désordonnée;
- les phyllosilicates verts, signifiant un pigment vert phyllosilicaté de composition variée présentant en étude diffractométrique une diffraction principale à 7 Å ou 14 Å. Je rapprocherai des phyllosilicates verts présentant une vraie raie principale à 7 Å ou à 14 Å respectivement la berthiérine et la chamosite.

Pendant très longtemps ces minéraux n'ont représenté qu'un seul et même minéral fréquemment rencontré comme minéral argileux majeur de nombreux gisements à oolithes ferrugineuses. C'étaient les phyllites à 7 Å de Brindley, 1949, Orcel, Henin et Caillère, 1949, Harden, 1951, appartenant au groupe des serpentines et de la kaolinite (homéotypes aluminoferrés de la kaolinite par remplacements dans la couche tétraédrique qui cesse d'être entièrement siliceuse); la chamosite étant alors l'équivalent anglosaxon de la berthiérine.

Depuis Brindley et Brown (1980) il faut réserver le terme "berthiérine" aux phyllosilicates 1:1, riche en fer (7 Å) et le terme "chamosite" à une chlorite (14 Å) riche en fer. La berthiérine est connue sous deux formes structurales souvent intimement mélangées, l'une de symétrie apparente trigonale, l'autre monoclinique.

c- Résultats.

L'échantillon CR16-7, après lavage, a été soumis aux ultra-sons pour décoller le film vert tapissant les grains de quartz. Le matériel obtenu a été suffisant pour confectionner une pâte orientée pour analyse par diffractométrie. Le diffractogramme (fig. 45) montre différents pics sur chacun des essais (normal (N), glycolé (G) et chauffé (Ch)) répertoriés dans le tableau ci-joint.

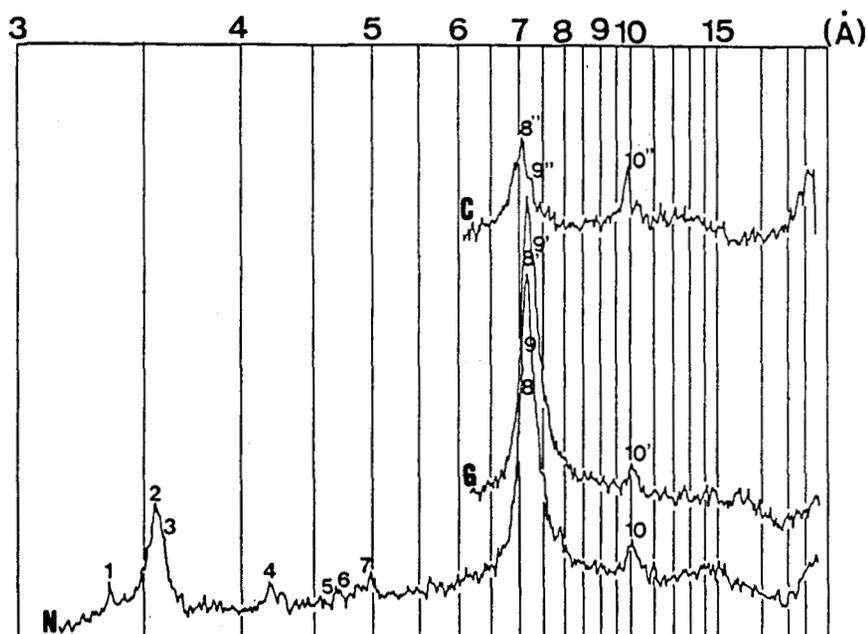


Fig. 45.- Diffractogramme de R.X. réalisé sur le matériel vert (éch. CR16-7) colorant les sables.

Fig. 45.- X.R. diffractogram of the green material which colors the sands (sample CR16-7).

N° du pic	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	3,34	3,54	3,59	4,18	4,67	4,71	4,98	7,15	7,33	10,03
N° du pic								8'	9'	10'
								7,17	7,35	10,03
N° du pic								8''	9''	10''
								7,14	7,34	10,06

(espacements réticulaires en Å)

Le matériel vert semble être constitué essentiellement d'un minéral à 7 Å (pic 8) stable au glycol et au chauffage (pics 8' et 8'') auquel on peut associer les réflexions harmoniques d'intensités plus faibles (3,54 Å, 4,67 Å) et accessoirement celles de l'illite (pics 10, 10', 10'' et les harmoniques à 3,34 Å, 4,98 Å), de chlorite (raies 002, pics 9, 9', 9'' et les harmoniques 3,59 Å, 4,71 Å) et la goéthite (pic 4).

L'identification du minéral à 7 Å est malaisée en raison de la position intermédiaire du pic entre une kaolinite type et une berthiérine type ainsi que par l'absence de certaines raies harmoniques.

Les travaux de Giresse et Odin (1973) sur les granules verts des sédiments actuels du plateau continental du Gabon et du Congo incitent à la réserve. En effet, ces auteurs ont mis en évidence par l'analyse diffractométrique des granules verts l'existence d'un pic à 7 Å pouvant être attribué soit à la kaolinite soit à la berthiérine. Dans le cas où l'analyse chimique montre une richesse notable en Fe^{2+} et en Mg^{3+} le nom de berthiérine est retenu, dans le cas contraire le

terme de "minéral à 7 Å" est choisi. Parallèlement le sédiment renfermant ces granules est riche en kaolinite (7 à 8 / 10), pauvre en illite (2 à 3 / 10) et en smectite (traces); les carbonates n'excèdent pas 10 %.

Dans le cas de Germigny-sous-Coulombs, j'assimilerai le composant phylliteux des "pelotes vertes" (fig. 39), et le matériel vert colorant "les argiles et les sables glauconieux" au "minéral à 7 Å" de Giresse et Odin en raison de :

- la couleur verte;
- la prédominance du pic voisin de 7 Å;
- le non enrichissement en Fe^{2+} et Mg^{3+} (1 à 2% et 0 % respectivement);
- le taux de kaolinite comparable aux autres niveaux.

d- Discussion.

Plusieurs aspects doivent être considérés prenant en compte d'une part l'existence de trois types de pelotes, d'autre part la coloration verdâtre de certains sédiments ou "faciès verts".

La présence de différents types de pelotes (grises, brunes et vertes) a été observée par Giresse (1969) sur le plateau continental au large du delta de l'Ogooué (Gabon). Les résultats essentiels concernent la composition de chacun des types de pelotes et les différents milieux de formation y afférant. Initialement les pelotes grises correspondaient aux déjections de Polychètes ingérant la vase; ces déjections évolueraient en fonction des conditions bio-physicochimiques du gisement en berthiérine ou en goethite.

Les analyses chimiques ne montrent pas de similitude entre les pelotes de même couleur de Germigny-sous-Coulombs (Vol. 2, Part. I, fig. 22 à 26) et du delta de l'Ogooué (fig. 46). Seule la tendance d'enrichissement en fer des pelotes blanches et / ou vertes aux pelotes brunes est commune.

Ech.	H589	H814	H1394	G82	G89
	Pelotes grises	Pelotes brunes	Pelotes vertes		
SiO ₂	49%	24%	18,5%	29,8%	44%
Al ₂ O ₃	4%	6%	15,5%	14,2%	9,1%
Fe ₂ O ₃	12,5%	22%	22%	21,8%	14,2%
FeO	4,5%	16%	7%	7,2%	9,7%
MgO	8,5%	11%	14%		8%
CaO				3,7%	1,4%
Na ₂ O				.1%	
K ₂ O	1%	2%	1,7%	1,5%	
Micas	10%				
Vermic.	40%		25%		
Chlorite	15%	10%	10%		
Berth.	15%	20%	50%	53%	61%
Glauc.				20%	
Goeth.		70%		17%	16%
Quartz	20%		15%	4%	120%
Calcite				6%	3%

Analyse chimique

Analyses diffractométrique
et thermique (Caillere)
(teneurs approchées).

Fig. 46.- Composition des pelotes grises (blanches), brunes (rouilles) et vertes des sédiments du delta de l'Ogooué (Gabon), (in Giresse P., 1969).

Fig. 46.- Components of the grey (whitish), brown (ferruginous) and green pellets of the sediments of the Ogooué Delta (Gabon), (in Giresse P., 1969).

Minéralogiquement on observe que dans les deux sites, les pelotes rouilles (ou brunes) sont essentiellement constituées de goethite et les pelotes vertes d'un "minéral à 7 Å" ou de berthiérine.

L'authigénie des pelotes ferromagnésiennes sur le plateau continental de l'Ogooué se ferait dans le sens de la berthiérine ou "minéral à 7 Å" en milieu acide, réducteur et abrité à des profondeurs de l'ordre de -40 m et dans le sens de la goethite dans les secteurs moins profonds, plus côtiers et plus oxygénés (Giresse, 1969). Porrenga (1967) met l'accent sur le facteur température; l'arrivée périodique d'eaux froides dans le delta de l'Ogooué serait un agent catalyseur des réactions chimiques et biochimiques. La berthiérine correspondrait à la zone frontale des plus grands débits de l'Ogooué (pH des eaux voisins de 7 et salinité faible) où la matière organique réductrice est abondante et la teneur en oxygène dissous faible tandis que dans les secteurs plus côtiers l'agitation de l'eau entraînerait une augmentation du Eh et la goethite se formerait préférentiellement.

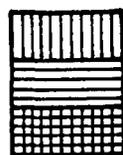
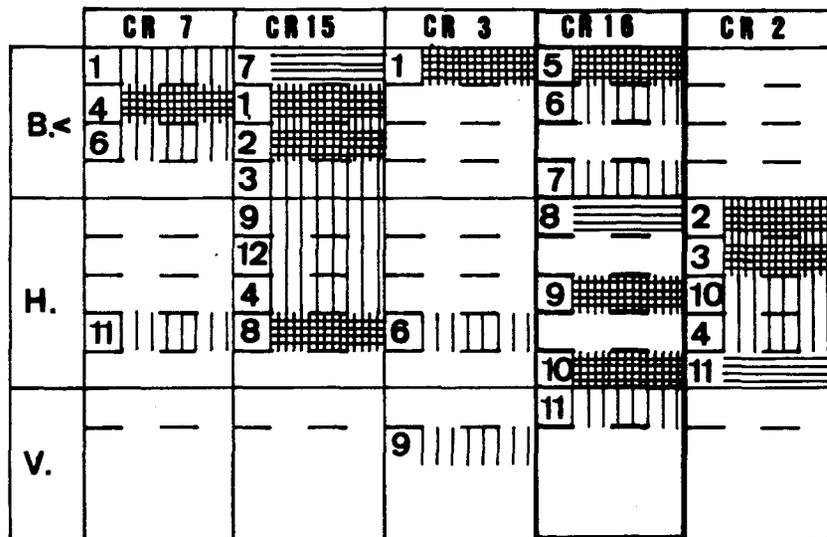
Les résultats de Braun (1962) vont dans le même sens avec la formation de goethite en milieu littoral et de chamosite en milieu plus profond. La berthiérine caractériserait un milieu deltaïque à sédimentation active (Giresse et Odin, 1973).

Je fais correspondre à l'appellation "faciès verts" les niveaux sableux ou argileux de couleur verte qu'ils renferment des pelotes vertes ou non.

Les conditions bio-physicochimiques semblant régler la présence de la berthiérine (ou du "minéral à 7 Å") elle-même caractéristique de la couleur verte tant de ces pelotes que du sédiment, je ne considérerai pas l'expression physique de ce minéral mais sa présence ou son absence. Dans ce dernier cas il est intéressant de rechercher la présence de goethite.

Ces remarques préliminaires m'ont conduit à représenter la répartition spatio-temporelle de trois catégories d'échantillons (fig. 47) :

- échantillons à "minéral à 7 Å";
- échantillons à "minéral à 7 Å" et goethite;
- échantillons à goethite.



pelotes vertes

pelotes rouilles

pelotes vertes et pelotes rouilles

V = Valanginien; H = Hauterivien; B< = Barrémien

inférieur

x = numéro de l'échantillon

Fig. 47.- Site de Germigny-sous-Coulombs. Répartition spatio-temporelle des différents types de pelotes.

Fig. 47.- Germigny-sous-Coulombs. Distribution in the space and in the time of the different types of pellets.

On constate que :

- le "minéral à 7 Å" apparaît plus précocement (Valanginien supérieur) au Sud-Est (CR3 et CR16);
- le "minéral à 7 Å" est plus fréquent au Sud-Est;
- il en est de même pour les niveaux à "minéral à 7 Å" et goethite.
- la variabilité puits par puits et étage par étage est délicate à aborder dans la mesure où le nombre d'échantillons en chaque puits n'est pas de même ordre et en raison du non espacement régulier de ceux-ci.

4- Synthèse.

Les distributions verticales et horizontales à l'échelle du site de Germigny-sous-Coulombs des éléments figurés, des minéraux accessoires et de composants fossiles (bioclastes divers, débris végétaux, lignite) ont été reportées sur une coupe schématique (fig. 48) NW (forage CR7)-SE (forage CR16).

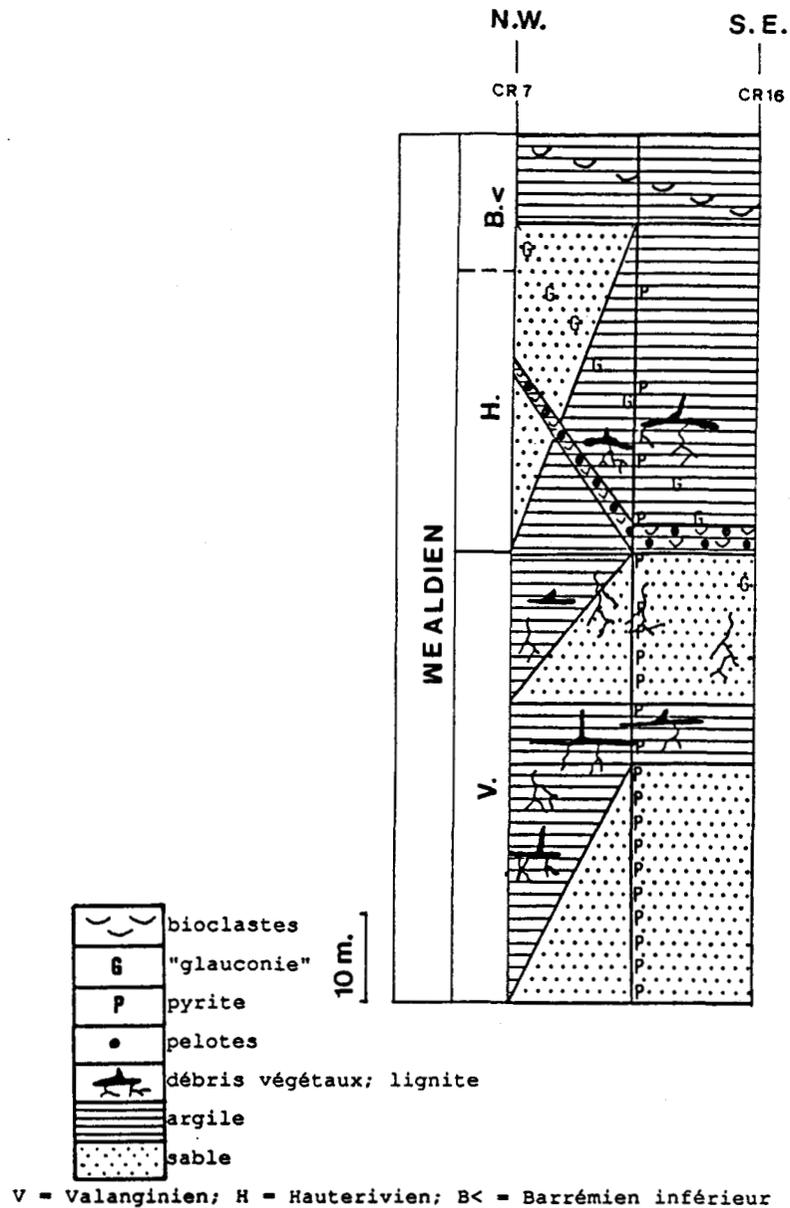


Fig. 48.- Site de Germigny-sous-Coulombs. Répartition spatio temporelle des composants secondaires des sédiments.

Fig. 48.- Germigny-sous-Coulombs site. Distribution in the space and in the time of the accessory components in the sediments.

Les lithofaciès ont été résumés aux deux pôles lithologiques vus précédemment, l'argile et le sable. On constate que (fig. 48)- :

- le Valanginien, à dominante sableuse au Sud-Est, devient plus argileux vers le Nord-Ouest et du bas vers le haut. L'ensemble de l'étage est envahi par de la pyrite; les débris végétaux, les paléosols et le lignite sont abondants;

- à l'Hauterivien, l'argile plus abondante et quasi-permanente tout au long de l'étage cède la place aux sables vers le Nord-Ouest et du bas vers le haut. Parallèlement, les apparitions des bioclastes, des ooïdes, de la "glaucanie" qui prend "le relais" de la pyrite sont plus précoces au Sud-Est;

- au Barrémien inférieur, "l'hégémonie argileuse" est "trahie" par la présence hétérochrone et l'abondance variable des bioclastes.

C- Etude de matière organique (Rock-Eval).

1- Introduction.

L'étude de la matière organique a été réalisée sur la totalité des échantillons (200) par la méthode "Rock-Eval" qui fournit de multiples paramètres, (Vol. 1, Chap. III). Toutes les valeurs obtenues ne sont pas significatives. En considérant les valeurs de seuils suivantes (Epistalié *et al*, 1986) :

- C.O.T. (% Carbone Organique Total) > 0,3 %, sinon aucun paramètre ne peut être retenu;
- C.O.T. > 0,5 %, sinon I.O. n'est pas significatif;
- S₂ (mg d'hydrocarbures par grammes de roches) > 0,2, pour prendre en compte Tmax;

Les paramètres retenus sont la température maximale de pyrolyse mesurée au sommet du pic S₂ (Tmax) (fig. 26), le potentiel pétrolier résiduel (S₂), le carbone organique total (C.O.T.), les index d'hydrogène et d'oxygène (I.H. et I.O.). Outre l'utilisation simple de ces données (Vol. 2, Part. I, fig. 32a, b, c) sous forme de logs géochimiques (Vol. 2, Part. I, fig. 33 à 37), il est possible de réaliser des pointés (lorsque C.O.T. > 0,5 et S₂ > 0,2), I.H. / I.O. et I.H. / Tmax, (fig. 49a et 49b).

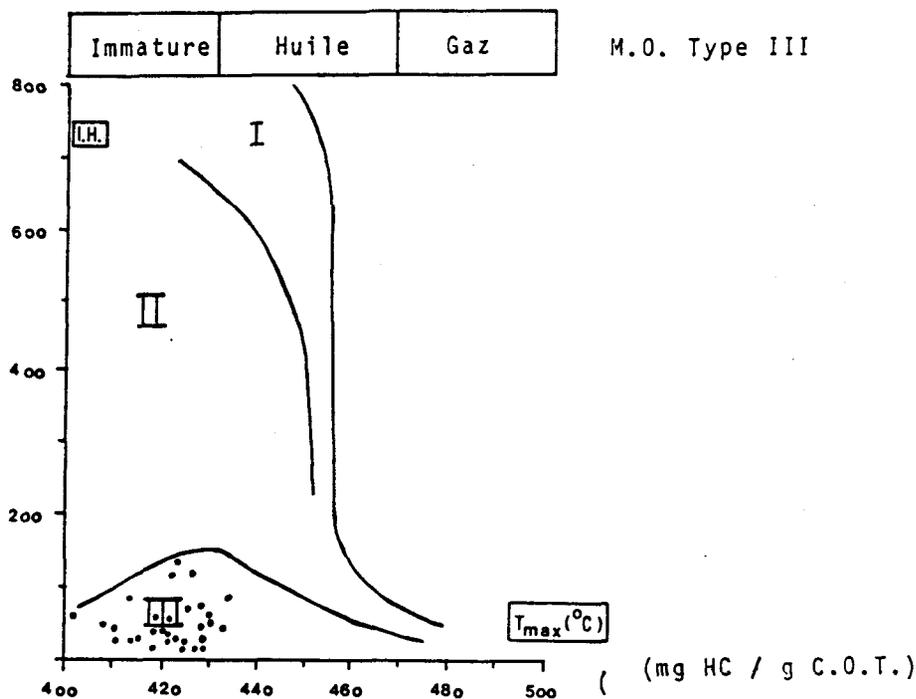


Fig. 49a.- Report des résultats "Rock-Eval" sur un diagramme Tmax (°C) / I.H.. Site de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 49a.- "Rock)Eval" results plotted on a diagram Tmax (°C) versus H.I.. Germigny-sous-Coulombs.

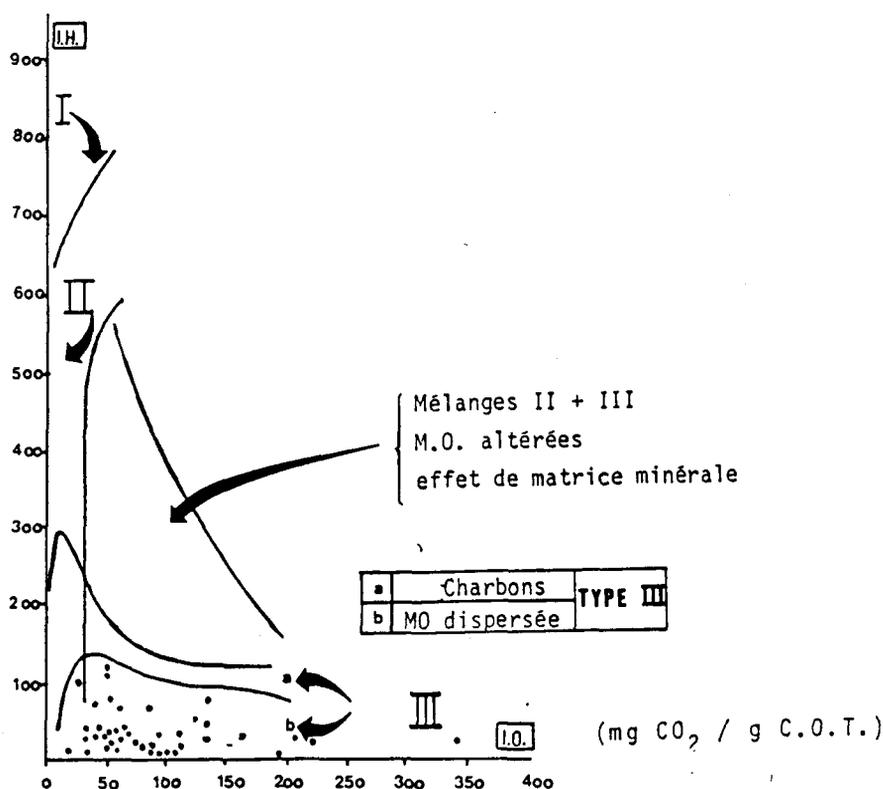


Fig. 49b.- Report des résultats "Rock-Eval" sur un diagramme I.O. / I.H..
Site de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 49b.- "Rock-Eval" results plotted on a diagram O.I. versus H.I..
Germigny-sous-Coulombs.

2- Résultats.

L'étude des logs géochimiques (Vol. 2, Part. I, fig. 33 à 37) montre que les variations des paramètres I.H., I.O., Tmax, S₂ et C.O.T. ne présentent pas d'évolution avec la profondeur.

Par contre, globalement, la matière organique, au Valanginien, est plus abondante et I.H. paraît plus élevé à l'inverse de I.O.. Les résultats obtenus par la méthode "Rock-Eval" peuvent être entâchés d'erreurs sous l'action de différents facteurs :

- la matrice;
- la diagenèse;
- l'altération de la matière organique. (Espitalié *et al*, 1986).

L'effet de la matrice est lié au fait que certains minéraux peuvent retenir des composés hydrocarbonés ou libérer des composés oxygénés. Les minéraux argileux d'une manière générale, l'attapulгите, l'illite, la montmorillonite en particulier, les oxydes de fer et, à un degré moindre, la kaolinite et les carbonates peuvent interagir avec la matière organique lors du chauffage.

Cet effet se traduit par une diminution du I.H. (Katz, 1983; Larter, 1984), et une augmentation de Tmax pour des valeurs de Illite / C.O.T. inférieurs à 10. Un contrôle, qui s'est révélé négatif, a été effectué en étudiant les variations de I.H. en fonction de l'argilosité

(Q_A), et de l'abondance en illite (Q_I) et de I / C.O.T. en fonction de T_{max} (Espitalié *et al*, 1986), sous forme de pointés et de recherche de lois de régression. De plus le fait que S_2 (potentiel pétrolier résiduel) varie parallèlement à C.O.T. va dans le même sens.

Au cours de la diagénèse les structures aliphatiques de la matière organique s'enrichissent, de façon relative, par élimination progressive des composés oxygénés. Cet effet se marque différemment selon le type de matière organique. Ainsi pour la M.O. I (matière organique de type I, d'origine lacustre) et pour la M.O. II (matière organique de type II, d'origine marine), I.O. diminue et T_{max} augmente. Pour la M.O. III (matière organique de type III, d'origine continentale), I.O. diminue tandis que T_{max} et I.H. augmentent. L'absence d'évolution de I.O., I.H. et T_{max} avec la profondeur indique que l'enfouissement n'a pas été suffisant pour influencer sur la matière organique. Ceci est corroboré par l'étude réalisée sur la matière organique du forage Logbaba au Cameroun, (Espitalié *et al*, 1986). Ce sondage a traversé une série deltaïque d'âge Crétacé supérieur. Les valeurs de T_{max} s'échelonnent entre 420°C et 530°C sur une profondeur de 900 à 3000 m. Le début de la dégradation thermique a été mis en évidence à partir de 1500 m et les premiers signes de transformation de la matière organique (de type III) à des T_{max} de l'ordre de 435°C. Ce qui correspond à des valeurs (profondeurs, T_{max}) supérieures à celles rencontrées à Germigny-sous-Coulombs.

L'altération de matière organique peut avoir lieu lors du transport ou après le dépôt lorsque l'enfouissement n'est pas rapide ou lorsque le sédiment est parcouru par des fluides. On constate, alors, une diminution de I.H. et une augmentation de I.O.. Ce phénomène a été éliminé suite aux résultats non probants obtenus en étudiant diverses combinaisons de paramètres :

- I.H. / I.O. = $f(\Phi)$ (porosité);
- I.H. / I.O. = $f(Q_A)$ (argilosité);
- I.H. = $f(Q_A)$; = $f(\phi)$.

3- Interprétation.

Les effets de la matrice, d'altération et de diagénèse étant appréciés, on peut considérer les résultats obtenus. L'interprétation se fera à l'aide de diagramme I.H.- T_{max} et I.H.-I.O. (fig. 49a et 49b). Ceux-ci permettent de définir le type de matière organique et son degré de maturation et peuvent se comparer (I.H.-I.O.) directement aux diagrammes de Van Krevelen H / C - O / C, (Espitalié *et al*, 1977; Mélières *et al*, 1981; Espitalié *et al*, 1984, 1986). Les matières organiques pures (kérogènes, charbons) et les matières organiques dispersées dans les roches, si elles ne subissent pas d'effet de matrice minérale important, sont localisées dans des "bandes caractéristiques" de chaque type de kérogène et dans lesquelles ces matières organiques se déplacent selon leur degré de maturation.

Le report des résultats dans les diagrammes I.H. / T_{max} (fig. 49a) et I.H. / I.O. (fig. 49b) indique que la matière organique est de type III, d'origine continentale se présentant essentiellement sous forme dispersée.

Dans le diagramme I.H. T_{max} les points sont peu étalés selon l'axe des abscisses et restent concentrés dans la zone de la matière organique immature.

Sur le diagramme I.H. / I.O. l'étalement des points est plus important selon l'axe I.O. et on retrouve, naturellement l'étalement, selon l'axe I.H., de la figure 49a. On observe un groupe de trois points (échantillons CR7-14, CR2_14, CR2-6) proches des secteurs des "charbons". Ils correspondent (Vol. 2, Part. I, fig. 33 à 35) à la "couverture C2" infravalanginienne caractérisée par l'abondance de lignite massive. On retrouve sur ce diagramme la tendance à diminuer de I.H. lorsque I.O. augmente. Un phénomène similaire a été observé sur de la matière organique de type II du Kimméridgien du Bassin d'Aquitaine (Kwak,

1981) et attribué à une altération sédimentaire. Cette éventualité que j'avais initialement éliminée n'est pas négligeable car dans le cas des altérations les plus intenses, des matières organiques originellement de type II ou même I peuvent se retrouver dans la lignée de référence de type III.

J'ai donc reporté, fig. 50, les variations du rapport I.H. / I.O., les plus faibles valeurs étant synonymes d'une altération plus intense, en fonction de la profondeur.

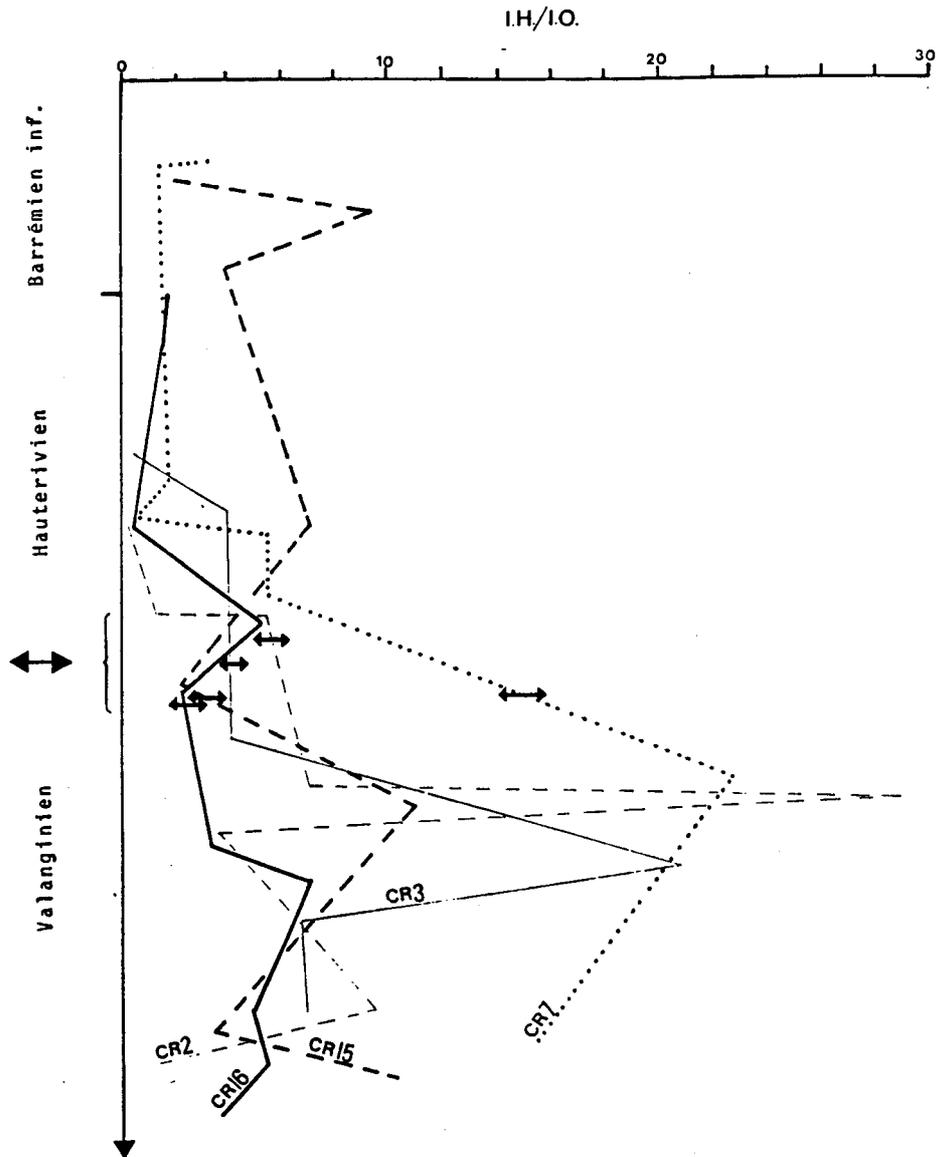


Fig. 50.- Variations en fonction de la profondeur du rapport I.H. / I.O..
site de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 50.- H.I. / O.I. versus depth . Germigny-sous-Coulombs.

En chacun des forages, I.H. / I.O. est plus faible à l'Hauterivien-Barrémien inférieur et croît au Valanginien avec des maximum dans la "couverture C2", lignito-charbonneuse.

4- Conclusion.

La matière organique, essentiellement dispersée, plus abondante au Valanginien, semble être de type III, d'origine continentale uniquement.

La possibilité d'une altération de celle-ci est envisageable, en particulier à l'Hauterivien-Barrémien inférieur. Dans ces niveaux elle pourrait être, au moins partiellement, d'origine marine (type II). Un élément de réponse à cette éventualité pourra être apportée lorsque les milieux de sédimentation auront été précisés.

D- Etude des minéraux lourds.

1- Introduction.

L'étude des minéraux lourds (grains de densité supérieure à 2,90) a été vue sous les aspects quantitatifs et "morphoscopiques" et réalisée en collaboration avec Mme Tourencq J. (Université de Paris VI) et le professeur Allen P. (Université de Reading, Angleterre). Cette étude concerne les niveaux sableux valanginiens de trois sites : Germigny-sous-Coulombs (CR2), Gournay-sur-Aronde (SR180) et le Vexin (Vn12).

2- Résultats.

Les résultats bruts (%), (Vol 2, Part I, fig. 38), montrent que six catégories de minéraux lourds ont été répertoriés : le zircon, les minéraux opaques, le rutile, la tourmaline, le grenat et les minéraux du métamorphisme de haut grade (staurotide, disthène, ...). Sur cette figure sont également reportés les résultats moyens concernant le Pays de Bray, le secteur de Paris (forages d'Ivry et de Pantin) ainsi que les tendances évolutives vers l'Est du Bassin de Paris à partir du Massif Armoricaïn (Allen P., 1959; Allen P., correspondance manuscrite).

3- Analyse.

a- Résultats globaux.

Les cortèges de minéraux lourds peuvent être scindés en deux familles, (Vol. 2, Part. I, fig. 39) : les minéraux ubiquistes (tourmaline, zircon, rutile) qui dominent avec 9 / 10 des cortèges et les minéraux du métamorphisme (staurotide, disthène, andalousite), qui constituent le complément mais qui sont quasiment absents à Germigny-sous-Coulombs (2 %).

Par contre avec les études antérieures effectuées dans le même secteur (Balavoine et Pomerol, 1964; Allen P., 1959) on observe, ici, une proportion plus forte des minéraux ubiquistes, en particulier des zircons et du rutile (x 2,5).

b- Les minéraux "marqueurs".

Le Bassin de Paris est limité par trois massifs montagneux (fig. 51) que l'on peut caractériser par leur potentialité à être pourvoyeurs de certains minéraux lourds (Allen, 1959; Balavoine et Pomerol, 1964 et Pomerol, 1964).

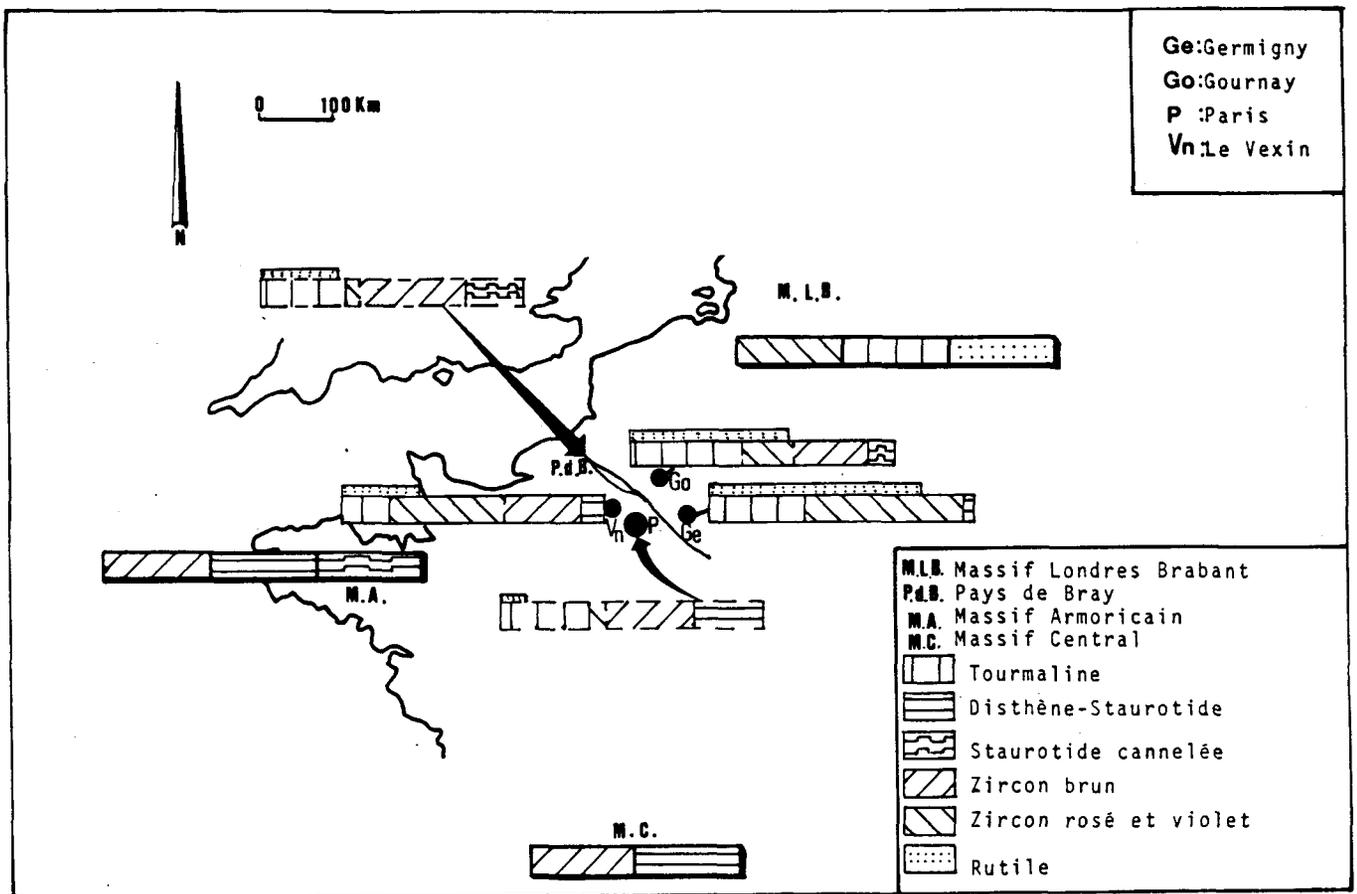


Fig. 51.- Bassin de Paris. Report géographique des abondances relatives des minéraux "marqueurs", sites de Germigny-sous-Coulombs, Gournay-sur-Aronde, Le Vexin; secteurs du Pays de Bray et de Paris (Ivry-Pantin). En rectangles plus épais sont indiqués, sans notion quantitative, les minéraux lourds typiques des Massifs Brabant-Londres, Armoricain et Central.

Fig. 51.- Basin of Paris. Relative abundances of the characteristic heavy minerals and their location : sites of Germigny-sous-Coulombs, Gournay-sur-Aronde, Le Vexin, Pays de Bray, Ivry-Pantin. In the thicker frames, without quantitative notion, the typical heavy minerals of old massifs are indicated : Massif Londres-Brabant, Massif Armoricain, Massif Central.

J'ai aussi distingué :

- le massif Londres-Brabant au NNW (M.L.B.) avec les zircons roses et violets, la tourmaline, le rutile;
- le Massif Armoricain, à l'Ouest (M.A.), avec le zircon brun, la staurotite et le disthène;
- le Massif Central, au Sud (M.C.) avec le zircon brun, la staurotite et le disthène.

Les proportions en ces minéraux ont été recalculées (Vol. 2, Part. I, fig. 40) pour les trois sites étudiés ainsi que pour le Pays de Bray et les forages de Paris (Yvry, Pantin).

Il apparaît (fig. 51) que le secteur de Germigny-sous-Coulombs est essentiellement d'affinité Londres-Brabant par son abondance en rutile, tourmaline, zircons roses et violets et la quasi-absence du disthène et de la staurotite. Par contre, le secteur de Gournay-sur-Aronde, notamment par l'apparition des zircons bruns et de staurotite cannelée est d'affinité armoricaine

sans pour autant exclure une influence ardennaise par les taux non négligeables en zircons roses et violets et en rutile. Les résultats sont proches et comparables à ceux du Pays de Bray.

Le secteur du Vexin semble sous l'influence dominante du Massif Central à l'image des forages parisiens (Ivry-Pantin) en raison de l'absence de staurotite cannelée et la rareté du rutile.

4- Conclusion.

Le site de Germigny-sous-Coulombs (fig. 52) est à rattacher à la province A ou septentrionale de Pomerol (1964) caractérisée par les ubiquistes provenant de l'altération des roches paléozoïques du Massif Londres Brabant et de ses auréoles mésozoïques. Les autres secteurs, sur lesquels je reviendrai ultérieurement, sont à rattacher à la province B ou méridionale caractérisée par les minéraux de métamorphisme, en particulier, la staurotite cannelée ou crénelée provenant du Massif Armoricain.

Ces résultats m'ont conduit à représenter une limite (barrière ?) passant entre les sites de Gournay-sur-Aronde et de Germigny-sous-Coulombs.

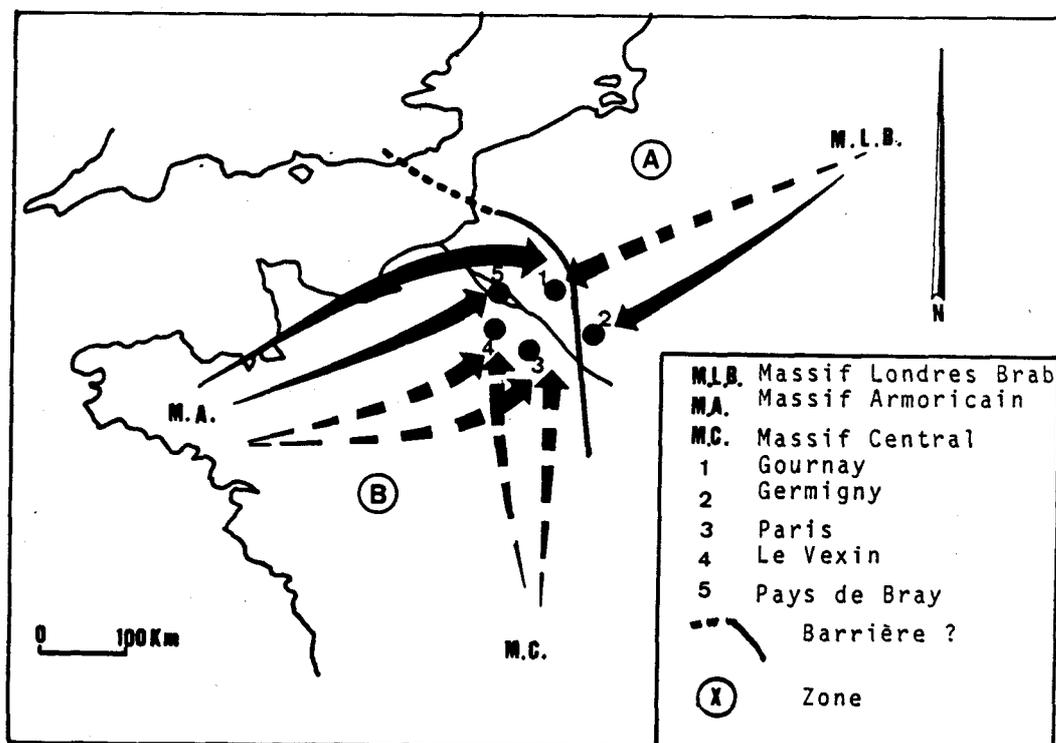


Fig. 52.- Bassin de Paris. Zones d'apport pour les sites de Germigny-sous-Coulombs, Gournay-sur-Aronde, Le Vexin, le Pays de Bray, le secteur de Paris (Ivry-Pantin) d'après les minéraux lourds.

Fig. 52.- Basin of Paris. Supplier zones for the sites of Germigny-sous-Coulombs, Gournay-sur-Aronde, Le Vexin, le Pays de Bray, the wells of Paris (Ivry-Pantin) from the heavy minerals data.

V- ANALYSE MINÉRALOGIQUE DE LA FRACTION ARGILEUSE.

A- Présentation d'ensemble.

1- Introduction.

Les résultats de l'analyse diffractométrique des argiles (fraction $< 2 \mu\text{m}$) sont présentés sous forme de tableaux (Vol. 2, Part. V, fig. 1 à 3) ainsi que sous la forme de logs (Vol. 2, Part. I, fig. 27 à 31) comportant de la gauche vers la droite :

- la lithologie simplifiée;
- les profondeurs (m) par rapport au sol;
- la position des échantillons;
- l'argilosité (%) et le taux maximum de carbonates (%);
- les proportions des minéraux argileux (%);
- les indices de cristallinité de l'illite et de la kaolinite ($1 / 10^\circ 2\Theta$);
- les minéraux, argileux ou non, détectés sur les diffractogrammes à l'état de traces : la chlorite, le talc, l'illite, les interstratifiés (10-14) et (14-14), la smectite, la kaolinite, la jarosite, la goéthite, le gypse, les feldspaths (Ca et K), les micas blancs;

L'analyse qualitative de la fraction argileuse a révélé la présence des minéraux argileux suivant :

- l'illite;
- les interstratifiés irréguliers illite - smectite et / ou illite - vermiculite notés (10-14);
- les interstratifiés irréguliers correspondant à un mélange chlorite - vermiculite, chlorite - smectite, vermiculite - smectite, dans lesquels la vermiculite peut constituer 80 à 90 % des feuillets, notés (14-14);
- la smectite;
- la kaolinite.

Les indices de cristallinité de l'illite et de la kaolinite correspondent à la largeur à mi-hauteur des pics respectivement à 10 et à 7Å sur l'essai glycolé (ils sont exprimés en $1 / 10^\circ 2\Theta$). Les abondances inférieures à 5 % sont exprimées de manière relative par les symboles ϵ^+ à ϵ^{4+} (Vol. 2, Part. V, fig. 1 à 3).

2- Résultats quantitatifs.

La kaolinite est le minéral dominant (70 %, éch. CR15-16 à 25 %, éch. CR3-2 et CR15-7) avec un taux moyen (fig. 53) de 42 %. L'illite (45 %, éch. CR16-16 à 5 %, éch. CR3-10 et CR7-3) et les interstratifiés (60 %, éch. CR3-10 et CR7-3 à traces, éch. CR16-16) avec des taux moyens respectifs de 27 et 32 % constituent le complément. La variabilité de ces trois minéraux (σ) est comparable (9 à 10 %), et très moyenne.

TAUX MOYENS ET VARIABILITE DES MINERAUX ARGILEUX
SUR LE SITE DE GERMIGNY-SOUS-COULOMBS

\bar{Q}_K	\bar{T}_K	\bar{Q}_I	σ_I	$\bar{Q}_{inters.}$	$\sigma_{inters.}$
42	9	27	9	32	10

Fig. 53.- Taux moyens des minéraux argileux sur le site de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 53.- Average clay minerals assemblies. Germigny-sous-Coulombs site.

3- Le problème de la smectite.

L'étude des minéraux argileux montre une étroite corrélation entre l'argilosité et certains minéraux argileux (Vol. 2, Part. I, fig. 22 à 27). Les bancs à faible argilosité ou sableux sont caractérisés par l'apparition systématique de la smectite. Ce minéral est particulièrement abondant aux forages CR2, CR3 et CR7. L'éventualité d'une contamination des niveaux sableux a été envisagée. Des faits corroborent cette supposition :

- les forages CR2, CR3, CR7 ont été réalisés avec une boue bentonitique;
- les forages CR15 et CR16 ont été réalisés avec une boue aux polymères;
- la recherche d'une loi de régression a donné, pour une régression linéaire : $V(\text{smectite}) = f(\text{porosité})$, un coefficient de corrélation $r(x, y)$ de 0,75 pour 19 valeurs et $r(x, y) = 0,85$ pour $V(\text{smectite}) = f(\text{perméabilité horizontale mesurée en laboratoire})$;
- le comportement de la smectite (éch. CR2-12) sur l'essai chauffé, laisse apparaître un petit pic vers 9,5 Å et un élargissement du pic à 10 Å vers les grands angles, ce qui correspondraient à une bentonite.

En conséquence, l'origine de la smectite laissant un doute, l'analyse et l'utilisation des résultats seront limitées aux échantillons dépourvus de smectite (Vol. 2, Part. V, fig. 4).

4- Variations globales des cortèges argileux.

Les échantillons dans lesquels la présence de smectite a été démontrée étant délaissés, on observe, au premier abord (Vol. 2, Part. V, fig. 5 à 9), des variations parallèles ou antiparallèles entre les divers minéraux argileux d'une part et / ou l'argilosité d'autre part.

Ces variations seront étudiées au puits CR16 dans un premier temps puis comparées et éventuellement complétées en étendant l'analyse aux autres puits dans un deuxième temps.

a- Le forage CR16 (Vol. 2, Part. I, fig. 31; Vol. 2, Part. V, fig. 9).

L'argilosité moyenne de l'ensemble des échantillons est de 57 % (Vol. 2, Part. V, fig. 10) à raison de neuf échantillons argileux ($Q_A = 70 \%$), (Vol. 2, Part. V, fig. 11), et de trois échantillons sableux ($Q_A = 21 \%$), (Vol. 2, Part. V, fig. 12). La kaolinite domine avec 41 %, l'illite et les interstratifiés, 30 et 31 % respectivement, constituent le complément. Les variabilités sont comparables, 9 à 10 %. Les indices de cristallinité de l'illite sont, d'une manière générale, inférieurs à ceux de la kaolinite, (*I = 4; *K = 4,3) et plus homogènes

($\sigma *I + 0,60$; $\sigma *K = 1,3$), (Vol. 2, Part. V, fig. 10). Les niveaux argileux et les niveaux sableux présentent des associations minérales identiques à l'exception de l'échantillon 16 où les interstratifiés sont absents. L'évolution des courbes (Vol. 2, Part. V, fig. 9) montre que :

- la kaolinite est étroitement dépendante de l'argilosité et lui est inversement proportionnelle. Elle est d'autant mieux cristallisée (indice plus faible) qu'elle est plus abondante ($*K = 3,1$ dans les sables, $*K = 4,7$ dans les argiles). Son abondance, plus faible dans les échantillons argileux, est plus homogène ($Q_K = 37 \%$, $\sigma_K = 4 \%$ contre $Q_K = 53 \%$, $\sigma_K = 9 \%$); ceci peut être parallélisé à la variabilité relative plus élevée de l'argilosité des sables ($\sigma_A = 6 \%$ pour $Q_A = 21 \%$), par rapport à celle des argiles ($\sigma_A = 13 \%$ pour $Q_A = 70 \%$), (Vol. 2, Part. V, fig. 11 et 12);

- l'illite ne présente pas de comportement aussi net. Son abondance est en opposition avec Q_A de l'échantillon 17 à l'échantillon 14 et parallèle de 13 à 1. Son indice de cristallinité ne paraît pouvoir être relié à aucun autre paramètre. L'illite est plutôt plus abondante et plus constante dans les échantillons argileux ($Q_I = 31 \%$, $\sigma_I = 6 \%$) que dans les échantillons sableux ($Q_I = 27 \%$, $\sigma_I = 13 \%$), (Vol. 2, Part. V, fig. 11 et 12).

- les interstratifiés ((10-14) + (14-14)) sont étroitement dépendants et proportionnels à Q_A . Ils sont nettement moins abondants dans les sables (19 % contre 32 %) mais montrent une variabilité plus forte (14 contre 8) que dans les argiles, (Vol. 2, Part. V, fig. 11 et 12).

En résumé, les variations de l'illite ne peuvent être reliées à aucun autre paramètre tandis que la kaolinite est plus abondante, mieux cristallisée, dans les échantillons sableux corrélativement à une diminution de l'ensemble des interstratifiés. Ce taux moindre est plus marqué pour les (14-14) que pour les (10-14), perte relative de 50 % contre 30 %.

b- Les forages CR2, CR3, CR7 et CR15.

Les proportions d'échantillons sableux et argileux sont comparables à celles vues au CR16.

Il en est de même pour les argilosités moyennes à l'exception des échantillons argileux du CR15 et sableux du CR7 pour lesquels Q_A est sensiblement plus élevé. De l'observation des tableaux (Vol. 2, Part. V, fig. 10, 11, 12), il ressort :

- une argilosité moyenne des échantillons par puits du même ordre avec un minimum au CR2 (47 %) et un maximum au CR15 (59 %);

- la kaolinite est le minéral dominant avec des taux très voisins de celui du CR16, un minimum au CR2 (38 %) et un maximum au CR3 (44 %). Par contre les indices de cristallinité de la kaolinite sont nettement supérieurs (4,8 à 5,1);

- l'illite est plutôt abondante avec un minimum au CR3 (24 %). Son indice de cristallinité est sensiblement inférieur au CR7 (3,8) mais supérieur aux autres puits avec un maximum au CR2 (5).

- Les abondances en interstratifiés ((10-14) + (14-14)) sont comparables (29 à 34 %), le minimum se rencontrant au CR15 et le maximum au CR2.

En conséquence, les valeurs moyennes observées au CR16 se retrouvent aux autres puits à l'exception des indices de cristallinité de la kaolinite.

Les évolutions verticales (Vol. 2, Part. V, fig. 5 à 8) ne montrent rien d'aussi net qu'au CR16 aux puits CR2, CR3, CR7, CR15 en ce qui concerne les paramètres Q_K , Q_I , $Q_{\text{interstratifiés}}$, Q_A , $*K$ et $*I$. Seul le CR3 montre l'augmentation de Q_K , les diminutions de $*K$ et de $Q_{\text{interstratifiés}}$ synchrones de la diminution de Q_A .

Les similitudes sont plus nombreuses avec le CR16 si l'on considère séparément les échantillons sableux et argileux (Vol. 2, Part. V, fig. 11 et 12) :

- *K est inférieur dans les "sables" (4,2 au CR3, 4,3 au CR7, 4,2 au CR15);
- les interstratifiés ((10-14) + (14-14-)) sont plus abondants bien que de façon moins nette, dans les "argiles" (36 % au CR3, 33 % au CR7, 30 % au CR15 pour, respectivement 25 %, 30 %, 25 % dans les "sables").

Il en ressort, à l'échelle du site de Germigny-sous-Coulombs, une bonne homogénéité qualitative des cortèges argileux. Quantitativement il semblerait que, au CR16 et au CR3, le taux de kaolinite (Q_K), son indice de cristallinité (*K) et l'abondance en interstratifiés soient à relier à l'argilosité. Ce phénomène ne se retrouve que ponctuellement aux CR2, CR7 et CR15 où, au contraire, les échantillons sableux sont globalement plus riches en illite et "pauvres" en kaolinite (Vol. 2, Part. V, fig. 11 et 12).

B- Variations, en relation avec le faciès, des cortèges argileux.

1- Introduction.

L'étude des variations globales montrent (Chap. V, A, 4) que le faciès n'est pas sans effet sur les cortèges argileux. Avant d'entamer une étude plus approfondies de ceux-ci, j'ai vérifié la réalité de ce phénomène.

Afin de mieux saisir l'effet d'argile j'ai réalisé différents pointés tels que : $Q_A = f(\Phi_{C.P.I.})^*$, $Q_K = f(Q_A)$, $Q_K = f(\Phi_{C.P.I.})$ et des observations au microscope électronique à transmission de la fraction argileuse inférieure à 2 mm tant des argiles que des sables.

2- Mise en évidence de l'effet d'argile.

a- Relation argilosité - porosité.

Le pointé $Q_A = f(\Phi_{C.P.I.})$, (fig 54), montre une bonne relation négative entre ces deux paramètres puisque la porosité augmente tandis que l'argilosité diminue selon une loi de régression linéaire avec un coefficient de corrélation de -0,86 sur 68 couples de valeurs. Ces coefficients s'échelonnent entre -0,81 au CR15 sur 14 valeurs à 0,92 au CR2 sur 13 valeurs, (0,85 , 11 valeurs au CR3; 0,83 , 13 valeurs au CR7; 0,91 , 17 valeurs au CR16).

* $\Phi_{C.P.I.}$ = Porosité de Computer Process Interprétation (Programmes Schlumberger).

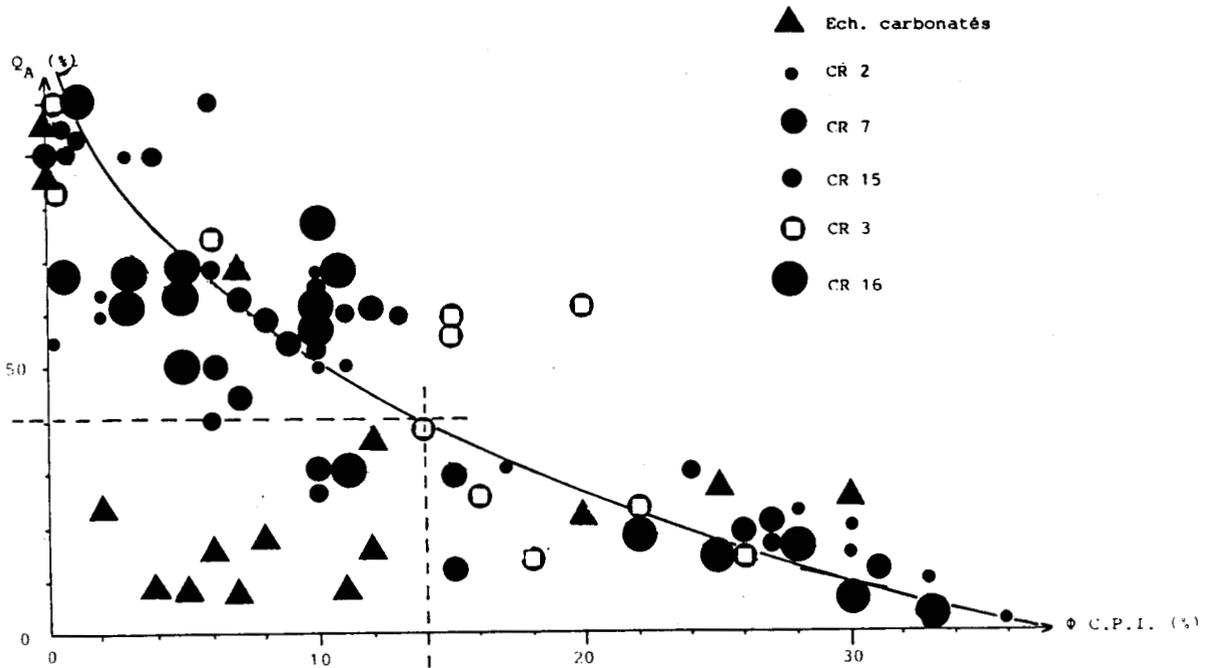


Fig. 54.- Mise en évidence d'une bonne corrélation argilosité-porosité (pointé Q_A en fonction de $\Phi_{C.P.I.}$).

Fig. 54.- Cross-plot Q_A (shaliness) versus $\Phi_{C.P.I.}$ (Porosity).

Cette relation est à rapprocher d'un résultat que j'avais obtenu, dans le cadre de travaux antérieurs effectués pour Gaz de France, en recherchant une relation perméabilité-porosité. Le meilleur résultat a été pour une relation de la forme $K = f(\Phi / Q_A)$ avec :

K (millidarcys) = perméabilité calculée à partir de la transmissivité hK (déduite de 12 essais de débit en cours de forage (D.S.T.)** et de 4 tests de débit de moyenne durée) divisée par la hauteur de formation testée.

Φ (%) = porosité C.P.I. moyenne totale obtenue par découpage en électro-bancs en éliminant les bancs d'argile compacte telle que $\Phi = \frac{\sum h_i \times \Phi_i}{\text{hauteur totale testée}}$

Q_A (%) = argilosité selon le même principe en remplaçant la porosité d'un électro-banc par son pourcentage d'argile lu sur une interprétation automatique des diagraphies.

La loi est, (fig. 55) :

$$K = f(\Phi / Q_A) = -653,60 + 364,25 \text{ Log}(\Phi / Q_A)$$

avec un coefficient de corrélation de 0,86.

Il existe donc une bonne relation argilosité-perméabilité.

** Drill Stem Test

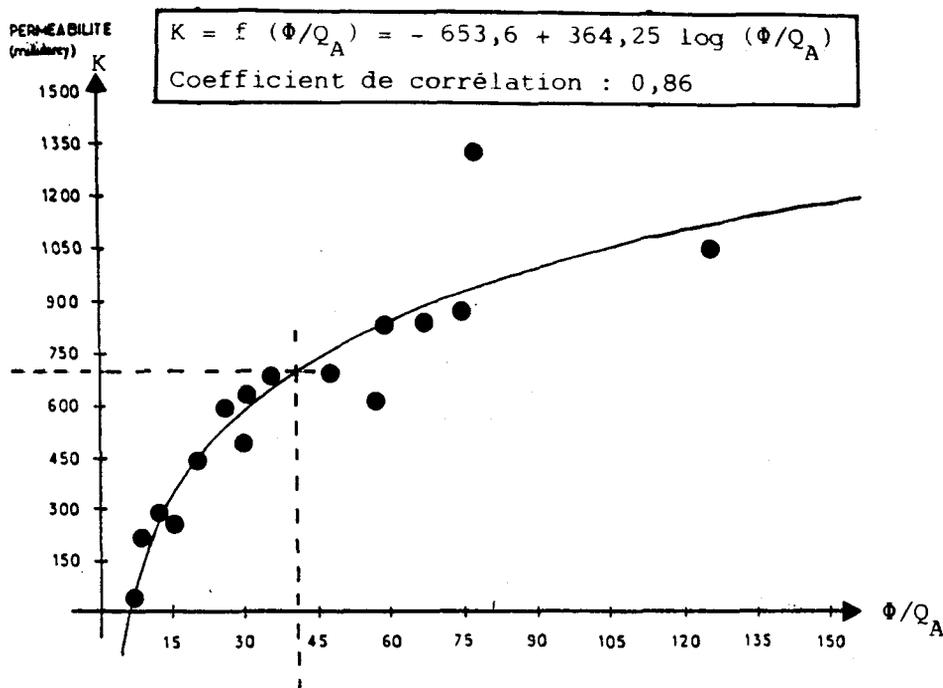


Fig. 55.- Recherche d'une loi de perméabilité (K) au couple porosité-argilosité ($K = f(\Phi_{C.P.I.} / Q_A)$).

Fig. 55.- Relationship between the permeability (K) and the ratio porosity / shaliness (Φ / Q_A).

b- Relations entre le taux de kaolinite, l'argilosité et la porosité.

Le pointé $Q_K = f(Q_A)$ fait ressortir une dispersivité plus importante des points lorsque Q_A diminue (fig. 56). L'ensemble des couples de points constitue un nuage dont les limites supérieures et inférieures (si l'on exclut les échantillons carbonatés) ont une pente positive.

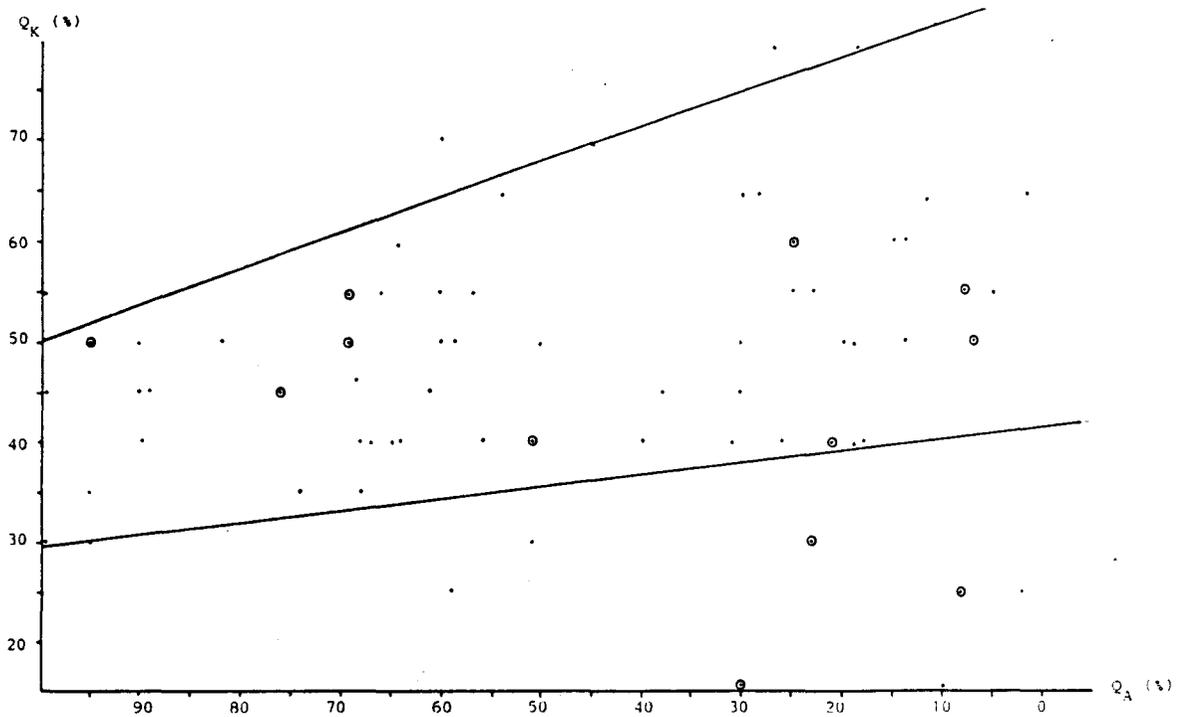


Fig. 56.- Relation entre l'abondance en kaolinite (%) et l'argilosité (Q_A).
Pointé Q_K - Q_A .

Fig. 56.- Relationship between the abundance of kaolinite (Q_K) and the shaliness (Q_A).

Le pointé $Q_K = f(\Phi)$ illustre de façon plus nette encore l'augmentation de Q_K lorsque Φ augmente (donc lorsque Q_A diminue). On observe (fig. 57) deux nuages de points :
 - un nuage (n1) où se trouvent les Q_K les moins élevés parallèlement à une relative homogénéité. Ceci correspond à une limite en porosité de l'ordre de 14 % (soit $Q_A \approx 40$ % (fig. 54) en-deçà de laquelle sont situés 90 % des échantillons à $Q_A > 50$ %;

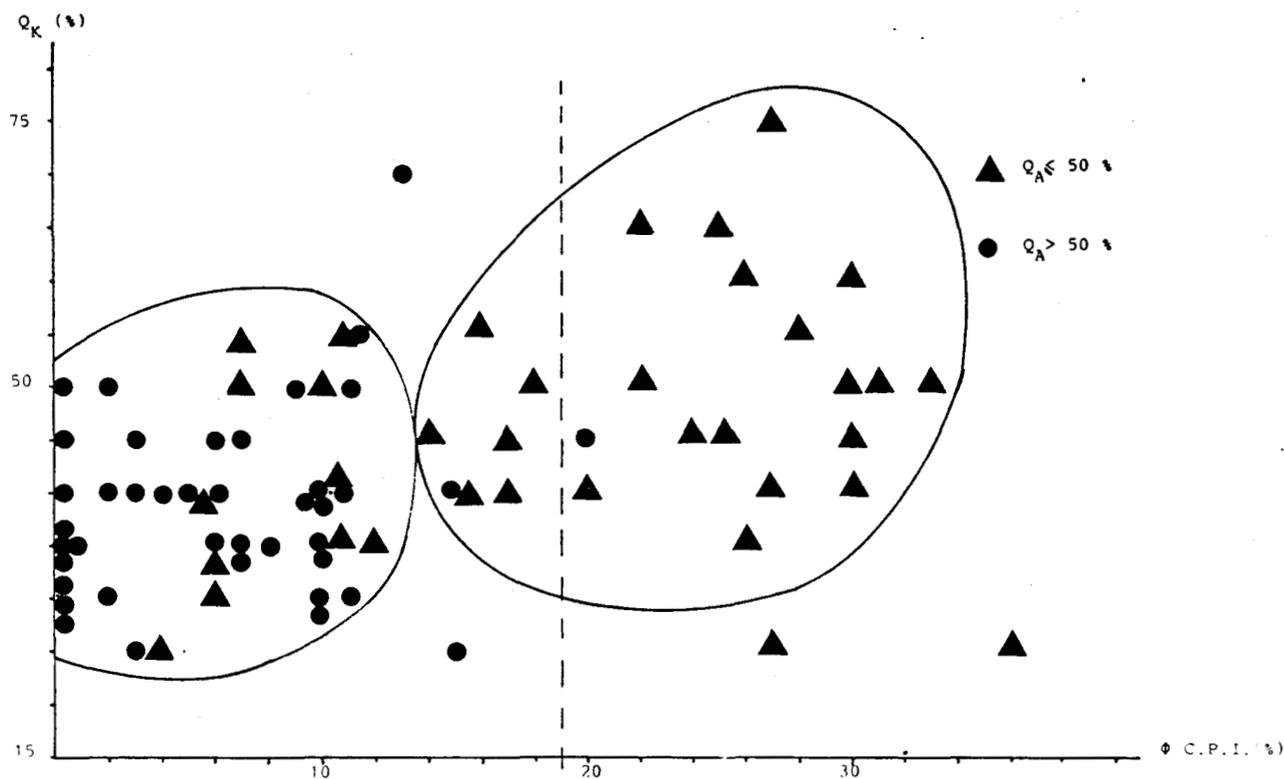


Fig. 57.- Relation entre l'abondance en kaolinite (Q_K) et la porosité ($\Phi_{C.P.I.}$). Pointé $Q_K - \Phi_{C.P.I.}$.

Fig. 57.- Relationship between the abundance of kaolinite (Q_K) and the porosity ($\Phi_{C.P.I.}$).

La variabilité de Q_K est beaucoup plus élevée au-dessus de $\Phi = 19\%$ (fig. 57) et dans les échantillons à $Q_A \leq 50\%$ (fig. 56).

Ainsi, l'abondance en kaolinite peut être reliée, au moins partiellement, à l'argilosité et par voie de conséquence à la perméabilité.

Les résultats des tests de débit ainsi que des mesures réalisées en laboratoire sur des "plugs"* ont donné des valeurs "efficaces" de 700 mD pour la perméabilité et de 20 % pour la porosité. Pour $K = 700$ mD (fig. 55), on obtient un Φ / Q_A de 40 ce qui donne un Q_A de 50 %. La valeur de $\Phi = 20\%$ est à rapprocher du seuil $\Phi = 19\%$ (fig. 57) à partir duquel des taux élevés en kaolinite apparaissent; la valeur 50 % pour l'argilosité conforte la division en deux catégories des échantillons, à savoir les "argileux" à $Q_A > 50\%$ et les "sableux" à $Q_A < 50\%$.

* plug : échantillons cylindriques (1 cm x 5 cm environ) horizontaux et verticaux prélevés sur les carottes.

3- Etude des argiles au microscope électronique à transmission (M.E.T.).

a- Introduction.

Huit échantillons ont été étudiés au microscope électronique à transmission :

- Trois échantillons argileux (CR3-1, CR7-1, CR15-14);
- Cinq échantillons sableux (CR7-10, CR7-12, CR7-15, CR7-17, CR16-12).

b- Résultats. (Vol. 2, Part. V, fig. 13 à 20).

α Les niveaux argileux.

- Ech. CR3-1 (G : 28500) (Vol. 2, Part. V, fig. 13a) : la granulométrie est hétérogène. Les micas (Mc) sont de grande taille; les kaolinites (K) sont groupées en amas au sein duquel on distingue de très petites kaolinites bien formées.

(G : 43500) (Vol. 2, Part. V, fig. 13b) : détail des amas de kaolinites hétérogranulaires; certaines surfaces cristallines sont nettes dans les "fins" et les "moyens" (S1) tandis que dans les "grossiers" les contours sont moins nets et présentent des brisures (S2);

(G : 87000) (Vol. 2, Part. V, fig. 13c) : hétérogranularité des kaolinites; certaines ont des surfaces cristallines nettes (K1) tandis que d'autres ont des bordures moins nettes (K2); l'ensemble reste toutefois assez bien préservé.

-Ech. CR7-1 (G : 21000) (Vol. 2, Part. V, fig. 14) : La granularité est hétérogène avec des micas (?), (Mc) dans les "grossiers" et concentration des kaolinites pseudo-hexagonales (K) dans les "fins".

- Ech. CR15-14 (G : 21000) (Vol. 2, Part. V, fig. 15) : la granularité est plus homogène que précédemment. Les "moyens" dominent avec les micas (Mc) associés à des "fins" avec les kaolinites (?) (K); d'une manière générale l'échantillon est "propre" avec des minéraux à bords généralement nets et un assez bon classement.

β - Les niveaux sableux.

-Ech. CR7-10 (G : 15000) (Vol. 2, Part. V, fig. 16a) : la granularité est hétérogène; le "grossier" est constitué de micas (Mc) très corrodés. La kaolinite constitue l'essentiel des "fins". Le fond de la préparation est parsemé de très fines particules transparentes en bâtonnets (B);

(G : 28500) (Vol. 2, Part. V, fig. 16b) : la kaolinite (K) est altérée, les bords sont crevassés; on devine des plans superposés. Les ponctuations qui tapissent sa surfaces sont dues à une réaction de l'eau des structures au faisceau d'électrons; les grosses particules sombres, floconneuses sont des smectites (Sm); on observe la présence d'un fin réseau "latté ?" dans la partie supérieure gauche (L);

(G : 28500) (Vol. 2, Part. V, fig. 16c) : on retrouve en fond de préparation les bâtonnets (B) et, dans la partie inférieure gauche, un fin réseau "latté ?", (L).

- Ech. CR7-12 (G : 22000) (Vol. 2, Part. V, fig. 17a) : hétérogranularité mais plutôt axée sur les "fins"; on note la présence de bâtonnets (B) et de structure "lattée ?", (L), mieux visibles sur le cliché suivant (Vol. 2, Part. V, fig. 17b). Les minéraux sont, le plus souvent, altérés;

(G : 54000) (Vol. 2, Part. V, fig. 17c) : kaolinites à plans superposés; les faces cristallines sont nettes, les angles saillants avec, localement, des bords diffus.

- Ech. CR7-15 (G : 43500) (Vol. 2, Part. V, fig. 18a) : vue d'ensemble qui met en évidence l'hétérogranularité dans les "moyens" à "fins". La kaolinite (K) est abondante, bien formée (cliché G : 32000) (Vol. 2, Part. V, fig. 18b) et à plans superposés (cliché G : 28500) (Vol. 2, Part. V, fig. 18c).

- Ech. CR7-17 (G : 54000) (Vol. 2, Part. V, fig. 19a) : hétérogranularité des kaolinites (K); les "fins" ont des formes cristallines plus nettes;

(G : 72000) (Vol. 2, Part. V, fig. 19b) : ce cliché illustre des kaolinites à plans superposés, pseudo-hexagonales, à faces rectilignes et angles nets.

- Ech. CR16-12 (G : 15000) (Vol. 2, Part. V, fig. 20a) : très belles kaolinites à plans superposés, bien formées. On observe les limites de croissance des cristaux sur le cliché suivant (G : 54000) (Vol. 2, Part. V, fig. 20b).

c- Conclusion.

L'augmentation de la kaolinite (Q_K), la diminution de son indice de cristallinité ($*K$), au détriment des interstratifiés lorsque l'argilosité diminue (Q_A), sont systématiques aux puits CR16 et CR3. Des échantillons argileux aux échantillons sableux, (Vol. 2, Part. V, fig. 11 et 12), la kaolinite augmente de 37 à 53 % au CR16 et de 40 à 51 % au CR3. Corrélativement, son indice de cristallinité passe de 4,7 à 3,1 $^{\circ}2\theta$ et de 5,2 à 4,2 $^{\circ}2\theta$ tandis que les interstratifiés régressent de 32 à 19 % et de 36 à 25 %.

Aux puits CR2, CR7 et CR15, ce comportement de la kaolinite au regard de l'argilosité n'est pas aussi net. Il ne se retrouve pas globalement en un puits donné mais de manière plus localisée, ainsi, par exemple, dans les niveaux de l'Hauterivien-Barrémien inférieur du puits CR15, (Vol. 2, Part. V, fig. 21 et 22). Là où ce phénomène n'existe pas on constate que, dans les niveaux argileux, le taux de kaolinite est déjà élevé, ainsi au CR2 (Valanginien), au CR3 (Valanginien), au CR7 (Valanginien et Hauterivien-Barrémien inférieur) et au CR15 (Valanginien), (Vol. 2, Part. V, fig. 21 à 24). Sans doute, faut-il envisager d'autres mécanismes masquant ou atténuant le précédent ? Les pointés ont démontré que l'enrichissement en kaolinite pouvait être relié à l'argilosité, mais davantage à la porosité et à la perméabilité. L'étude au microscope électronique à transmission permet de préciser que les niveaux sableux, plus riches en kaolinite mieux cristallisée, se distinguent des niveaux argileux par la rareté des micas (altérés), la présence de bâtonnets et, particulièrement, par de la kaolinite automorphe, de grande taille, à plans superposés encore appelée kaolinite en "accordéon" dans la littérature.

Des travaux relativement récents portant sur l'étude des minéraux argileux dans les faciès sableux par comparaison avec des faciès argileux ont montré un enrichissement des horizons sableux (Glass, Potter et Siever, 1956; Glass, 1958; Smoot, 1960a et b; Smoot et Norain, 1960) en une kaolinite de grande taille, amorphe, bien cristallisée. L'utilisation du microscope électronique à balayage (M.E.B.) et à transmission (M.E.T.) a permis de

reconnaître son aspect typique en "accordéon", (Houareau C., 1974; Wilson H.D. et Pittman E.D., 1977; Keller W.D., 1976, 1988).

Cette kaolinite résulterait d'une néoformation de diagenèse précoce (Huggett, 1984). L'authigénie post-sédimentaire se serait produite dans les sédiments perméables parcourus par des eaux acides (Millot, 1964; Esteoule-Choux, 1981; Huggett, 1984) contenant de faibles teneurs en sels dissouts, (Wollast, 1967).

Pour Kontarowicz (1984), la néoformation de la kaolinite serait favorisée en milieu d'eaux douces rendues acides suite à l'oxydation de la matière organique par des bactéries. L'apport continu d'eau douce serait un facteur facilitant (Curtis, 1977) en maintenant un pH bas, un Eh positif et une salinité faible (Bucke et Mankin, 1971; Curtis et Spears, 1971).

La faible teneur en cations (Si, Al,...) n'est pas incompatible avec la néoformation de la kaolinite. Plusieurs processus (Gamermann, 1979) peuvent entraîner la formation d'argiles authigènes. Cet auteur distingue la transformation et la néoformation. La transformation (Lucas, 1962) correspond au passage d'un minéral argileux à un autre sans mise en solution d'éléments. La transformation se fait soit par aggradation soit par dégradation. La néoformation est la genèse d'un minéral nouveau à partir d'ions en solution. Les ions nécessaires peuvent être d'origine interne (dissolution de minéraux primaires du sédiment) ou d'origine externe (apport dans la zone de précipitation par les eaux de percolation).

Millot (1964) n'exclut pas la possibilité de kaolinite néoformée à partir de l'illite. C'est la kaolinisation des illites avec génération de tous les intermédiaires possibles car "il n'existe pas de coupure formelle dans la dégradation des réseaux en direction de la mise en solution" (Millot, 1964). Gamermann (1979) a observé des néoformations de kaolinite à partir de montmorillonite (grès de la Formation de Botucatu), à partir d'illite (grès de la Formation de Rosario do Sul) et à partir de feldspaths potassiques (grès de la Formation de Botucatu).

Les modalités de la néoformation de kaolinite dans les niveaux sableux du site de Germigny-sous-Coulombs n'apparaissent pas clairement. Il n'y a pas de relation nette entre l'abondance en kaolinite et les autres composants du sédiment, argileux ou non. En effet, l'augmentation du taux de kaolinite, l'amélioration de sa cristallinité s'opèrent "indifféremment" aux dépens des interstratifiés et / ou de l'illite avec ou sans incidence sur sa cristallinité (Vol. 2, Part. V, fig. 21 à 24). Il en est de même vis à vis du contenu en matière organique ou l'abondance et l'aspect des feldspaths.

C- Variations spatio-temporelles des cortèges argileux.

1- Introduction.

Les cortèges de minéraux argileux sont porteurs de messages qui traduisent leur milieu générateur. Il est donc indispensable d'apprécier le plus possible d'effets "parasites" qui auraient modifié ce message au cours du temps qui s'est écoulé entre le moment de l'altération de la roche mère dont sont issus les minéraux argileux (minéraux hérités) et le moment de l'analyse du sédiment.

Le principe de la néoformation d'une partie de la kaolinite dans les niveaux sableux étant admis, nous considérerons uniquement les niveaux argileux ($Q_A \geq 50 \%$).

2- Variations dans les assemblages argileux du Valanginien à l'Hauterivien-Barrémien inférieur.

Le Valanginien argileux (Vol. 2, Part. V, fig. 24) et l'Hauterivien -Barrémien inférieur argileux (Vol. 2, Part. V, fig. 22) ont une argilosité moyenne du même ordre

(65 % / 72 %). Le Valanginien est plus riche en kaolinite (+9 %) au détriment de l'illite (-6 %) et des interstratifiés (-3 %). Les indices de cristallinité de la kaolinite et de l'illite sont relativement stables (-0,3 et +0,5 °2 Θ) respectivement.

Ces variations se retrouvent en chacun des forages en qualité comme en sens. La seule différence notable est la faible intensité de la variation du taux de kaolinite aux puits CR7 et CR16 où elle n'est que de 3 et 5 %, respectivement, alors qu'elle oscille entre 10 et 13 % aux autres puits. On notera que tant au Valanginien qu'à l'Hauterivien-Barrémien inférieur, le CR7 est le plus riche en kaolinite et le CR16 est le moins riche.

3- Variations latérales des cortèges argileux.

a- Le faciès wealdien argileux ($Q_A \geq 50$ %) dans son ensemble.

L'abondance en kaolinite (Q_K) et sa cristallinité ($*K$), bien que les différences restent faibles, augmentent du puits CR16 vers les puits CR2 et CR7, (indépendamment de Q_A), (fig. 58a) et (Vol. 2, Part. V, fig. 11). Q_I évolue parallèlement à Q_A avec des valeurs faibles aux puits CR7, CR15, CR3 et avec des valeurs élevées aux puits CR16 et CR2.

On a donc selon une direction générale SE-NW et (?) SE-NE, augmentation de la kaolinite et diminution de l'illite.

b- Les niveaux argileux du Valanginien d'une part et à l'Hauterivien-Barrémien inférieur d'autre part.

Au Valanginien, (fig. 58b) et (Vol. 2, Part. V, fig. 24), la kaolinite augmente du SE (CR16) vers le NW (CR7) (indépendamment de l'argilosité). L'illite, au contraire diminue vers le CR7 et vers le NE (CR2). Les interstratifiés ne montrent pas de comportement simple; il en est de même pour les indices de cristallinité de la kaolinite et de l'illite. A l'Hauterivien-Barrémien inférieur (fig. 58c) et (Vol. 2, Part. V, fig. 22) le taux de kaolinite est constant à l'exception du CR7 (NW) où il est plus élevé (+7 à +9 %) au détriment, en particulier, de l'illite qui varie faiblement aux autres puits.

D- Signification des variations.

Les variations observées dans les cortèges argileux peuvent trouver leur origine dans des causes uniques ou multiples. Des événements divers jalonnent "l'histoire" des argiles depuis la roche mère jusqu'au moment du prélèvement.

A l'origine, les matériaux résultent soit de l'érosion mécanique directe et / ou chimique, de différents types de roches (sédimentaires, plutoniques, cristallophylliennes) sur des continents ou des reliefs émergés ou en voie d'émersion, soit du remaniement de sols recouvrant des surfaces continentales aplanies dans lesquels une activité pédogénétique s'est développée. La tectonique est un facteur prédominant; "vivante, elle engendre les détritiques; ... la tectonique ne choisit pas ou guère l'origine des produits sédimentés; ils dépendent de la nature des continents et de ses altérations." (Millot, 1964).

Les altérations sont définies par le climat qui conditionne l'intensité de celle-ci et la genèse des minéraux argileux. Son action peut être directe par des mécanismes physiques (température, variations de température, hydratation) ou chimiques (dissolution, oxydo-réduction, hydrolyse) et / ou indirecte par le développement d'une végétation qui pourra agir mécaniquement (stabilisation des sols, filtre) mais aussi biologiquement (acidité, ...), (Correns, 1939; Sakamoto, 1954; Keller, 1958; Biriou, Henin et coll., 1961). Le climat et la tectonique peuvent interférer. "... l'origine première des matériaux sédimentés ... est le résultat de deux

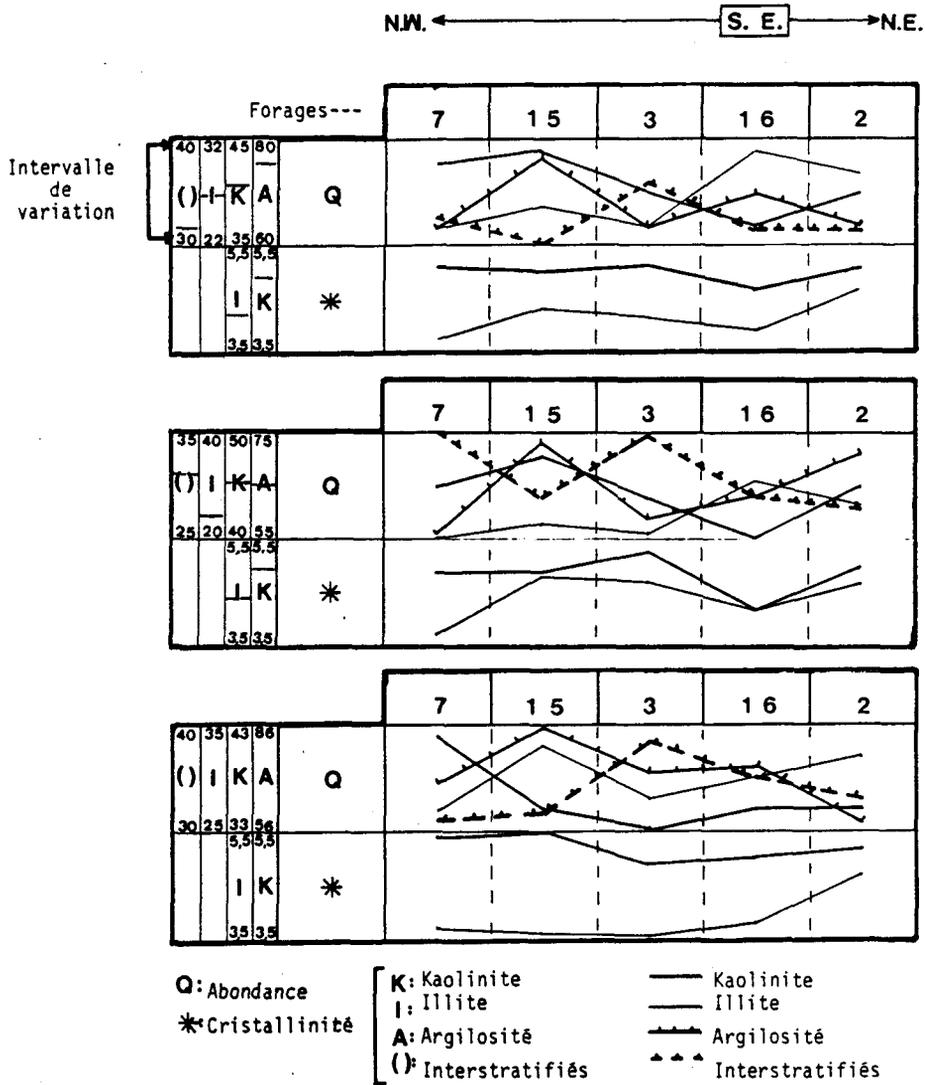


Fig. 58a.- Variations spatiales des cortèges argileux. Valeurs moyennes calculées sur les bancs argileux ($Q_A \geq 50 \%$) sur l'ensemble du faciès wealdien en chaque puits de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 58a.- Spatial variations of the clay minerals assemblies during the Wealden times. Germigny-sous-Coulombs site.

Fig. 58b.- Variations spatiales des cortèges argileux. Valeurs moyennes calculées sur les bancs argileux ($Q_A \geq 50 \%$) sur l'ensemble du Valanginien en chaque puits de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 58b.- Spatial variations of the clay minerals assemblies during the Valanginian. Germigny-sous-Coulombs site.

Fig. 58c.- Variations spatiales des cortèges argileux. Valeurs moyennes calculées sur les bancs argileux ($Q_A \geq 50 \%$) sur l'ensemble de l'Hauterivien-Barrémien inférieur en chaque puits de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 58c.- Spatial variations of the clay minerals assemblies during the Hauterivian-Lower Barremian. Germigny-sous-Coulombs site.

facteurs distincts, bien que toujours mêlés : l'évolution tectonique et l'évolution climatique des reliefs d'alimentation" (Millot, 1964).

"L'histoire du matériel argileux se poursuit lors de son transport. L'eau, principal vecteur, peut voir son chimisme évoluer de l'amont vers l'aval ou de façon épisodique par le jeu d'alimentation ou d'évaporation. Les argiles qui avaient atteint un équilibre avec leur milieu de formation vont subir des modifications et trouver un nouvel équilibre physico-chimique. A cette transformation éventuelle du matériel hérité s'ajoutent un triage mécanique lié aux tailles différentes des espèces minérales argileuses et une contamination par les sols des bassins versants, (Holms et Hearn, 1942). Si le matériel argileux se dépose en milieu marin, lors du passage eau douce-estuaire-eau marine les modifications progressives du milieu agiront sur les argiles, (Taggart et Kaiser, 1980; Johns et Grins, 1958; Milne et Early, 1958; Powers, 1957; Griffen et Ingram, 1955). Si "le facteur le plus important" reste "l'héritage du matériel fourni par les fleuves et les rivières, la sédimentation différentielle joue certainement un rôle" (Millot, 1964).

Le matériel argileux, une fois déposé, peut être l'objet de mécanismes de transformation. Des modifications se poursuivent éventuellement, c'est la diagénèse.

Des mécanismes précédents, susceptibles de modifier le message argileux initial (hérité) je ne retiendrai que celui de la sédimentation différentielle. J'exclus l'influence unique du climat car les variations, résumées sur la fig. 59 à 2 entrées (géographique et spatiale) se retrouvent identiques selon les deux facteurs précédents. Les transformations post-dépositionnelles sont également exclues car, d'une part, je n'ai considéré que les échantillons argileux ($Q_A \geq 50\%$) et, d'autre part, les variations ne sont pas liées à l'argilosité (vu précédemment) plus ou moins élevée de ces niveaux argileux.

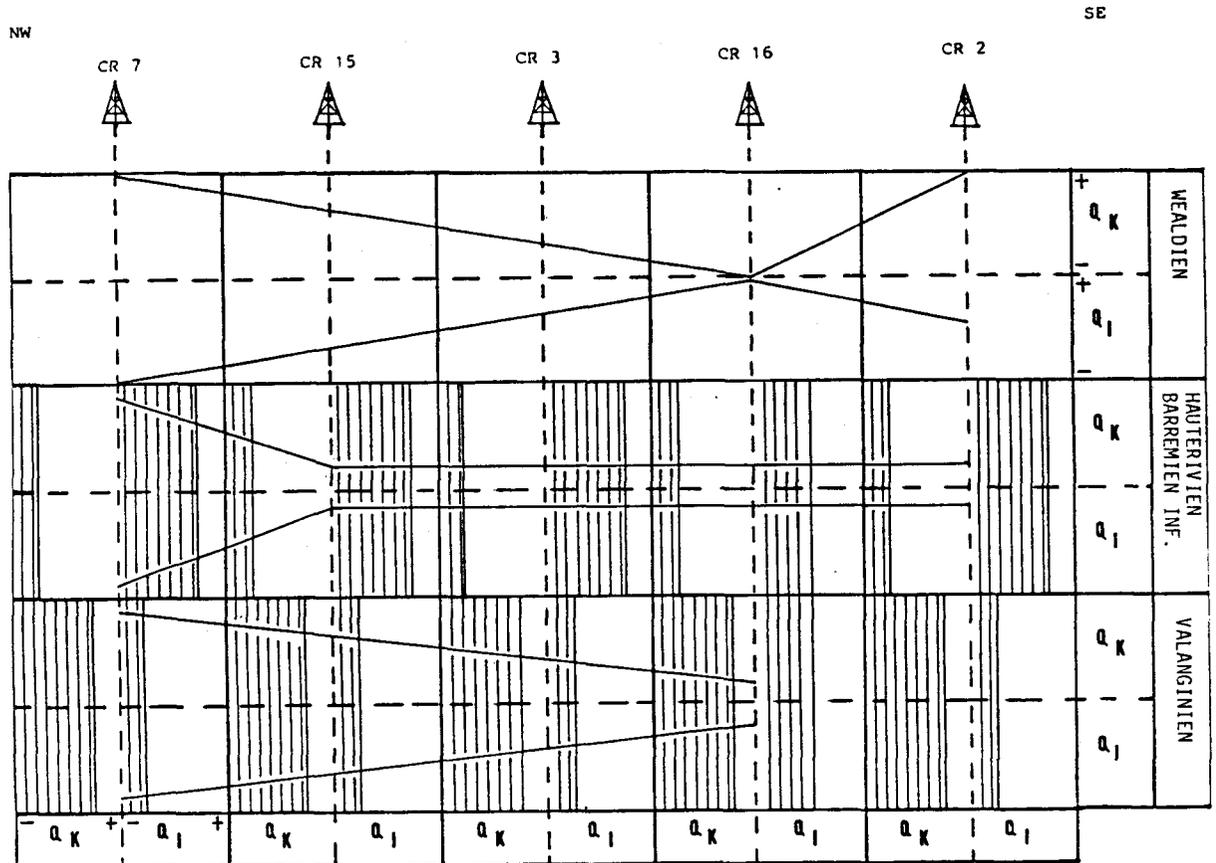


Fig. 59.- Synthèse des variations spatiales des cortèges argileux.

Fig. 59.- Synthesis of the variations of the clay minerals assemblies.

Ainsi la diminution de la kaolinite, l'augmentation de l'illite du NW vers le SE et du Valanginien à l'Hauterivien-Barrémien traduiraient une modification du milieu de dépôt à la fois dans le temps et dans l'espace sur le secteur de Germigny-sous-Coulombs. Cette modification du milieu s'opèrerait en terme de tri granulométrique : amont (kaolinite dominante), aval (illite dominante), parallèlement ou non à une augmentation de la salinité du milieu de dépôt (la kaolinite floculant plus rapidement que l'illite), (Brooks R.A. et Ferrel R.E., 1970; Parham W.E., 1966; Spears D.A. et Amins M.A., 1981).

VI- INTERPRETATION.

A- Introduction.

L'utilisation des résultats des analyses micropaléontologiques (Ostracodes, Foraminifères, restes de Vertébrés), lithofaciologiques (éléments figurés) et de la fraction argileuse vont permettre de définir le(s) paléoenvironnement(s) "wealdiens" dans le secteur de Germigny-sous-Coulombs.

L'exploitation des données pétrophysiques (porosité, granulométrie), diagraphiques (électroséquences) et des minéraux lourds conduira à envisager un modèle de dépôt dans l'environnement défini précédemment.

B- Origine du matériel sédimentaire.

Le faciès wealdien dans le secteur de Germigny-sous-Coulombs est constitué quasi-exclusivement d'argiles et de sables argileux reposant sur un Jurassique à faciès "Purbeckien", carbonaté. Les cortèges argileux du Jurassique sont dominés par l'illite (Chap. IV, III, D) tandis que ceux du Crétacé inférieur dans les bancs argileux ($Q_A \geq 50\%$) le sont (fig. 53) par la kaolinite (42 %) et les interstratifiés (32 %) où les feuillettes vermiculitiques dominent (Vol. 2, Part. V, fig. 1 à 3). Le complément est constitué par l'illite (27 %).

La richesse de ces dépôts en kaolinite ainsi que l'abondance du fer, sous forme réduite (pyrite) ou oxydée (goethite) les apparentent aux formations du Crétacé inférieur du Bray et de la Haute-Marne (Millot, 1949). Selon cet auteur ces caractéristiques correspondent à l'extension d'un faciès sidérolithique résultant du démantèlement des couvertures latéritiques et kaoliniques de massifs émergés identifiés par l'analyse de minéraux lourds (Vatan, 1938; Pomerol, 1963); Balavoine et Pomerol, 1964) :

- le Massif Londres-Brabant;
- le Massif Armoricain;
- le Massif Central.

La latérisation témoigne de l'extension de climats tropicaux (Chamley, 1979) sur l'Europe au Jurassique qui est celle des bauxitisations de l'Ariège, de Provence et des Pyrénées orientales (Lapparent, 1930; Estéoule, Estéoule-Choux et Louail, 1969). Le faciès sidérolithique a été reconnu à diverses périodes (Millot, 1964), principalement au Carbonifère, au Crétacé inférieur et à l'Eocène sur les trois continents. Il peut présenter des aspects très divers, "habituellement caractérisé par des minerais de fer en grains ou pisolithes", (Fleury, 1909), mélangés à des argiles dans lesquelles la kaolinite et la goethite règnent, (Millot, 1964). Il est le résultat d'une longue série d'actions étroitement dépendantes du climat et de la tectonique. Il convient de distinguer le climat générateur de la latérite et la saison de remaniement :

- le climat générateur est de type tropical humide;
- la saison de remaniement, ou phase du sidérolithique s.s., pendant laquelle la latérite primitive est désagrégée lentement par les eaux d'infiltration et les produits remobilisés et transportés dans les bassins de sédimentation; la tectonique peut contribuer à la remobilisation.

Au climat tropical du Jurassique succède, au Crétacé d'après les données palynologiques et les argiles, (Depape, 1961; Allen, 1975); (Chamley, 1979; Decommer et Chamley, 1981; Sladen et Batten, 1984), un climat chaud à saisons contrastées avec une période brève de forte humidité et une période longue et sèche. Dans ce contexte climatique le mélange d'espèces argileuses minérales issues de sols évolués (kaolinite) et d'altérations plus modérées (interstratifiés, illite) s'explique par un héritage partiellement Jurassique (remobilisation par des conditions tectono-climatiques propices) et partiellement crétacé (régime d'altération moins drastique).

Ces considérations sont applicables à des échelles géographique et climatique larges. Ainsi le secteur de Germigny-sous-Coulombs s'inscrit dans ce schéma par :

- les données climatiques issues des analyses palynologiques qui montrent des associations comparables (95 % de genres communs) à ce qui a été décrit lors d'études antérieures dans ce secteur (Delcourt et Sprumont, 1955 et 1957; Levet-Carette, 1966; Herngreen, 1970 et 1981; Decommer, 1979 et 1981);
- l'abondance de la kaolinite;
- la présence de grains ferrugineux;

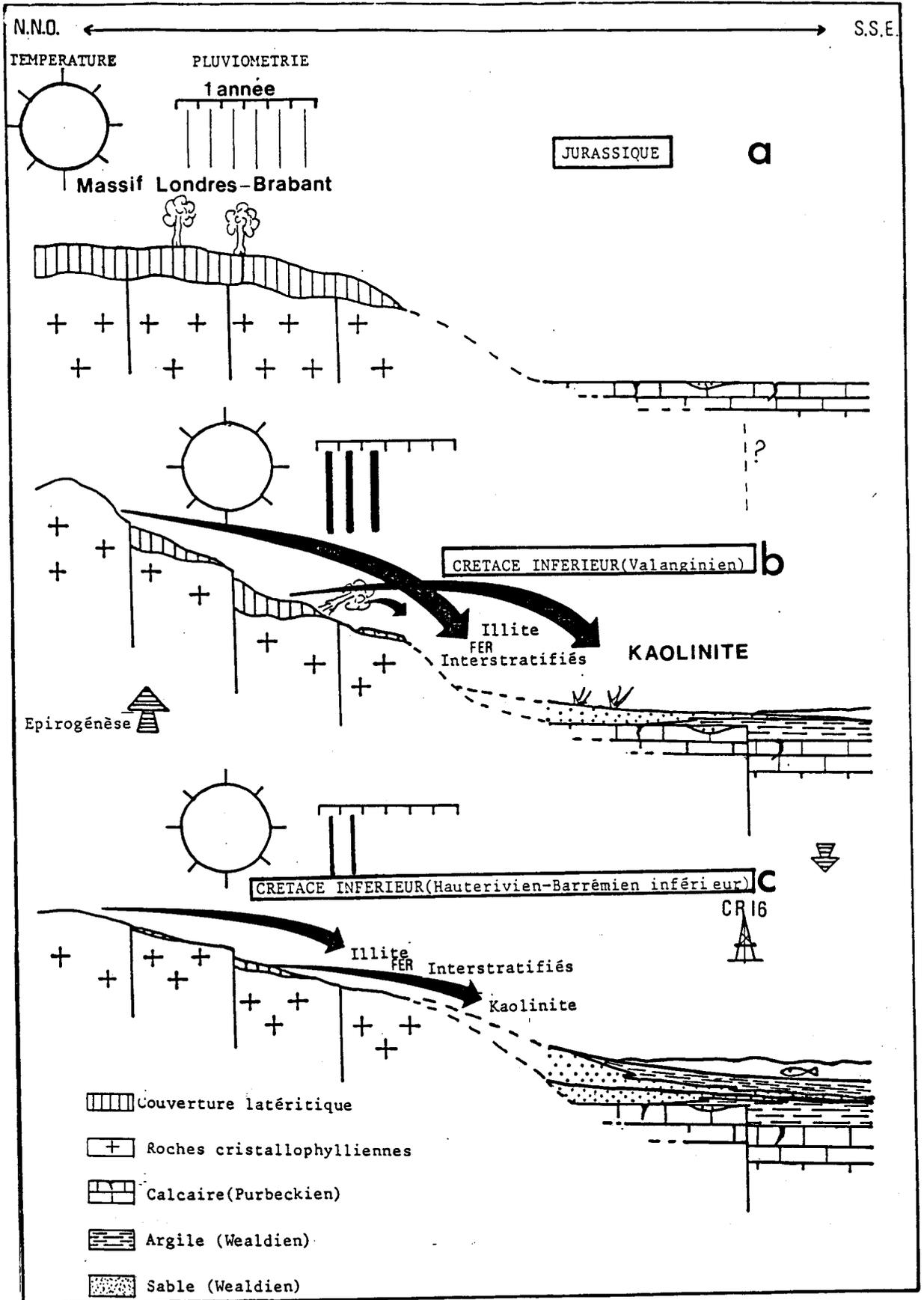


Fig. 60.- Evolution schématique des apports détritiques de la limite Jurassique-Crétacé au Barrémien inférieur sur le site de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 60.- Schematical evolution of the clastic deposits from the Upper Jurassic to the Lower Barremian in the Germigny-sous-Coulombs' area.

- le fer, réduit ou oxydé, omniprésent;
mais en diffère par les interstratifiés et l'illite en quantités non négligeables.

Il est alors nécessaire, à une échelle géographique réduite, de faire intervenir des particularismes locaux. Dans cette optique, l'étude des variations des cortèges argileux sous l'aspect du rapport I (%) / K (%), (fig. 37), montre en chacun des forages :

- du Jurassique au Crétacé inférieur (Valanginien), une très nette diminution;
- du Valanginien à l'Hauterivien basal, une relative constance;
- de l'Hauterivien moyen au Barrémien inférieur, une sensible augmentation.

Cette situation se retrouve, d'une manière générale, dans "les sédiments fins du Portlandien à l'Aptien en Europe du Nord-Ouest" (Sladen, 1983) et, en particulier, dans le Sud-Est de l'Angleterre (Sladen et Batten, 1984) :

- assemblages dominés par la kaolinite et complétés par les interstratifiés à feuillets vermiculitiques abondants et l'illite, au dessus de l'horizon "Cinder Beds", (fig. 2);
- de l'Hauterivien à l'Aptien, la kaolinite diminue au profit de l'illite et des interstratifiés qui s'enrichissent en feuillets smectitiques.

Ainsi, (fig. 60), à la limite Jurassique-Crétacé les évènements des phases cimmériennes tardives vont entraîner un rajeunissement du Massif Londres-Brabant (Sladen, 1983) et déstabiliser la couverture latéritique (fig. 60a) (kaolinite et fer). Au Crétacé inférieur, le climat globalement moins hydrolysant, va générer des interstratifiés et de l'illite. Les fluctuations observées dans les assemblages argileux sont liées à la réactivation de failles (Ziegler, 1975, 1981) qui ont provoqué des variations de l'altitude de ce massif et modifié localement le climat :

- au Valanginien, (fig. 60b), un relief élevé entraîne une pluviosité forte, des conditions acides et donc une altération puissante (I / K faible et interstratifiés à vermiculite) et des apports détritiques dominés par les sables;
- à l'Hauterivien - Barrémien inférieur (fig. 60c), l'abaissement du relief a pour conséquence une diminution relative de la pluviométrie, un milieu alcalin, moins lessivé et donc l'apport vers le bassin de sédiments plus fins (silts et argiles) et des minéraux argileux peu évolués plus abondants (I / K croissant et interstratifiés à smectite), (Sladen et Batten, 1984).

C- Environnement et modalités des dépôts wealdiens au puits CR16.

1- Introduction.

La détermination de l'environnement sédimentaire et la reconstitution des modalités de dépôt des formations wealdiennes au puits CR16 se feront en plusieurs étapes. Dans un premier temps le faciès wealdien sera découpé en sections correspondant à des électroséquences (Chap. III). Chacune d'entre elles sera étudiée sous les aspects lithofaciologiques et sédimentologiques (lithologie, contenu faunistique et floristique, figures sédimentaires, ...) dans un deuxième temps. Enfin, à chaque électroséquence, il sera possible d'attribuer un contexte sédimentaire et de suivre l'évolution verticale de celui-ci.

2- Identification d'électroséquences (fig. 61).

Les analyses séquentielles sont basées sur l'observation des séries détritiques dont le faciès reflète l'énergie de dépôt qui a conditionné la répartition granulométrique (les argiles étant considérées comme une fraction granulométrique).

Dans les formations argilo-sableuses, les diagraphies de radioactivité naturelle, de potentiel spontané, de résistivité, notamment, peuvent être reliées au pourcentage d'argile et à la

-  Laminations
-  Surfaces de glissement
-  Stratifications entrecroisées
-  Figures de courant
-  Bioturbations
-  Granulométrie (f:fin;G:grossier)
-  Lignite
-  Bioclastes
-  Galets mous
-  Oolithes
-  Direction et sens d'apport
-  Axe du corps sédimentaire et son plongement

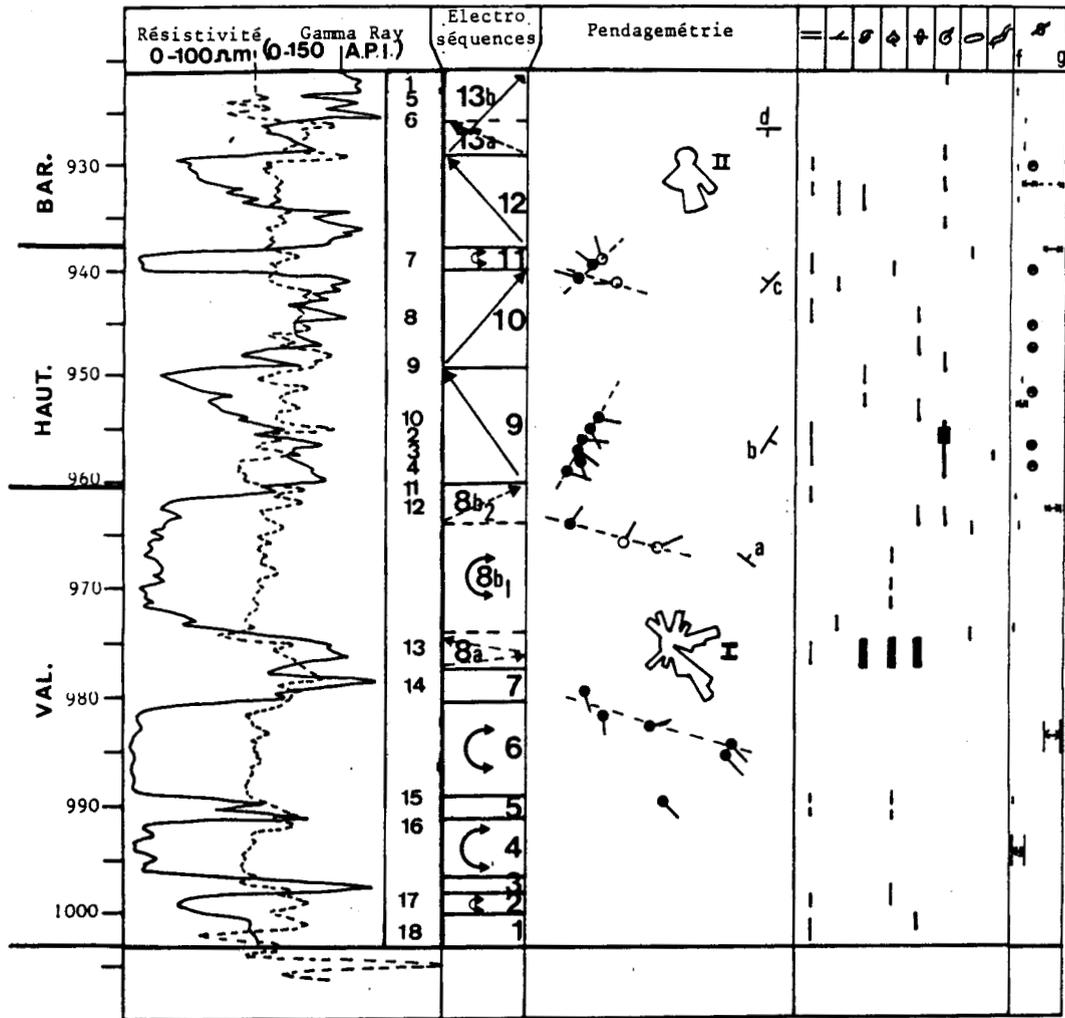


Fig. 61.- Analyse électroséquentielle au puits CR16.

Fig. 61.- Well CR16 : electrosequential analysis.

granulométrie. Ainsi, de l'observation des réponses diagraphiques et de l'évolution de celles-ci, on pourra en déduire l'énergie d'un dépôt.

La forme des courbes (Chap. III, fig. 28), l'allure des contacts inférieurs et supérieurs des électrobanes ont permis d'établir une classification des électroséquences (Shell-Pecten U.S.A. 1956-57), auxquelles on peut faire correspondre des milieux de dépôt (Pirson, 1970-77) (Chap. III, fig. 30).

Le découpage et l'identification des électroséquences est réalisé, initialement, au CR16 pour les mêmes raisons que celles évoquées (Chap. IV, I) dans le choix de ce puits comme référence, à savoir, une grande variété des lithofaciès et un contraste élevé entre ceux-ci, ce qui induit des électroséquences nettes et bien développées, (Vol. 2, Part. II, fig. 8).

Treize électroséquences de premier ordre peuvent être distinguées (fig. 61) numérotées de 1 à 13 à partir du bas. Les électroséquences n° 1 à 8 sont d'âge Valanginien; l'Hauterivien et le Barrémien inférieur comportent les électroséquences n° 9 à 13. En regard du "log composite" constitué du Gamma-Ray et d'une mesure de résistivité sont reportées les données de la pendagemétrie et des informations relatives au lithofaciès et aux structures sédimentaires majeures (fig. 61 et planche hors-texte n° 2).

a- Analyse des électroséquences n° 1 à 8.

Au Valanginien, sept électroséquences en cylindre (n° 1 à 7) se succèdent (fig. 61) :

- trois électroséquences en cylindre négatif dentelé, "Sand thickening up" (n° 2 à 4 et 6), sableuses;
- quatre électroséquences en cylindre positif (n° 1, 3, 5, 7), argileuses.

Elles présentent des contacts inférieurs et supérieurs abrupts et l'on observe, d'une part, que le rapport "Sand / Shale" est supérieur à 1 et que d'autre part, la résistivité moyenne des passées sableuses augmente légèrement de 2 à 4 et à 6.

Au sein de l'électroséquence n° 8, au sommet du Valanginien, on distingue (du bas vers le haut) trois électroséquences élémentaires, ou de deuxième ordre :

- une électroséquence en cylindre positif (8a), argileuse;
- une électroséquence, globalement en cylindre négatif, sableuse (8b) qui peut être scindée en (8b1), cylindrique et en (8b2), granodécroissante ou positive.

La pendagemétrie indique une distribution azimutale bimodale (I), modérément dispersée et en particulier, (a), un allongement NW-SE pour l'ensemble 1 à 8.

b- Analyse des électroséquences 9 à 13.

L'Hauterivien débute par une électroséquence négative (9) d'ordre supérieur dans laquelle s'inscrit une succession de microséquences négatives. Une électroséquence positive (10) d'ordre supérieur, également dentelée, lui fait suite. L'ensemble formé par ces deux électroséquences constitue une courbe caractéristique "en oeuf". Le cycle Hauterivien se termine par une électroséquence en cylindre négatif (11), sableuse. La pendagemétrie (b) donne une direction d'allongement NE-SE.

Au Barrémien inférieur, on retrouve une mésoséquence "en oeuf" résultant de la succession de l'électroséquence négative (12) et d'une électroséquence globalement positive (13) à contact inférieur abrupt. La pendagemétrie à distribution azimutale unimodale (II) est moyennement dispersée. Il apparaît globalement un allongement NE-SW (c) évoluant E-W (d).

3- *Interprétation des données issues de l'analyse électroséquentielle (fig. 61) et de l'examen des faciès (Vol. 2, Part. I, fig. 8).*

En combinant la signification sédimentologique des diverses électroséquences identifiées précédemment (Chap. IV, fig. 30) et les données issues de l'analyse faciologique, il est possible d'en déduire le ou les environnements et les modalités de dépôt.

L'interprétation se fera en trois étapes. La première regroupe les électroséquences n° 1 à 7 (fig. 61) du Valanginien, la seconde concerne les électroséquences n° 9 à 13 de l'Hauterivien-Barrémien inférieur et la troisième traite de l'électroséquence composite n° 8.

a- Les électroséquences n° 1 à 7 du Valanginien.

L'analyse faciologique basée sur l'observation directe des carottes montre que les sables gris et gris-beige (électroséquences 2, 4, 6) sont exempts d'argile et peu ligniteux. La granulométrie moyenne augmente des électroséquences n° 2 et 4 (fin à moyen) à l'électroséquence n° 6 (moyen à grossier) où l'analyse granulométrique (Ech. 15) (Vol. 2, Part. V, fig. 25) permet de préciser un grain moyen de $257\mu\text{m}$, un classement moyen ($S_0 = 1,20$) et une distribution normale ($S_k = 0,98$). Les argiles (électroséquences n° 1, 3, 5, 7) de teinte grise à gris-noir très riches en lignite et en pyrite, présentent des lamines silteuses. Dans l'électroséquence n° 1, on observe quelques bioturbations et les débris végétaux sont disposés en fines couches charbonneuses. D'une manière générale la microflore est abondante mais mal conservée; aucune microfaune n'a été décelée. La matière organique (Type III), (Chap. IV, IV, C, 4) est d'origine continentale.

Le type d'électroséquences (cylindres positifs et négatifs) et les données faciologiques indiquent que ces dépôts, dans un contexte continental, correspondent à des dépôts fluviaux en tresse progradant (l'augmentation de la granulométrie et donc de l'énergie de 2 à 4 et à 6). Cette progradation s'accompagne du comblement des chenaux abandonnés par des argiles colonisées par une végétation épisodiquement submergée comme en attestent des intercalations de laminations silteuses.

b- Les électroséquences n° 9 à 13 de l'Hauterivien-Barrémien inférieur.

L'électroséquence n° 9 (fig. 61), négative, débute par des argiles verdâtres, "glaucוניeuses", se poursuit par des argiles silteuses à intercalations de fins niveaux sableux à ciment carbonaté (Ech. 4), (Vol. 2, Part. I, fig. 8) et laminations silteuses et se termine par un banc sableux (Ech. 9).

Les trois-quart inférieurs, à dominante argileuse, sont très riches en pelotes ferrugineuses (Ech. 4, 3, 2) et en bioclastes (Lamellibranches, Gastéropodes), (Ech. 2, 3, 4, 10) entiers ou brisés, s'organisant localement en lumachelle (Ech. 4). Les argiles, le plus souvent grises, présentent fréquemment des passées verdâtres, "glaucוניeuses", (base et Ech. 3, 10). La pyrite est très rare (Ech. 10) ainsi que le lignite qui n'apparaît que vers le sommet (Ech. 10). Des bioturbations et des figures de courant sont observées.

Le quart supérieur de l'électroséquence est un sable à stratifications entrecroisées, peu argileux (Ech. 9), verdâtre, "glaucוניeux", fin; l'analyse granulométrique (Vol. 2, Part. V, fig. 26) indique un grain moyen de $112\mu\text{m}$, un très bon classement ($S_0 = 1,15$) et une distribution normale ($S_k = 1,01$). Il renferme des pelotes ferrugineuses et du lignite.

Ensuite, électroséquence n° 10, la granulométrie diminue avec, à la base, des argiles silteuses qui passent progressivement à des argiles au sommet. Dans cet ensemble argileux, de

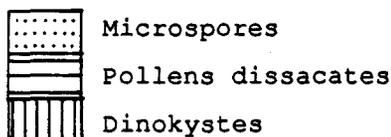
teinte grise à gris-noir, les bioclastes et les pelotes ferrugineuses sont abondants dans la moitié inférieure. Le lignite et la pyrite sont omniprésents; la base est bioturbée.

Les résultats des analyses micropaléontologiques (Ostracodes, Foraminifères, microflore) et minéralogiques vont permettre de définir l'environnement de dépôt correspondant à ces deux électroséquences (n° 9 à 10).

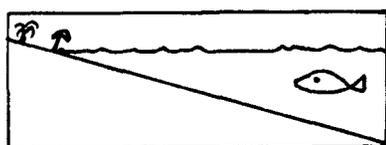
La microfaune d'Ostracodes (Ech. 4 et 10), (Vol. 2, Part. IV, fig. 1) de l'électroséquence n° 9 indique un milieu marin néritique (Colin, correspondance manuscrite), sans influence d'eau douce en l'absence de formes telles que le genre *Cypridea*, caractéristique des faciès wealdiens typiques. L'association relevée dans l'échantillon 10 (Vol. 2, Part. IV, fig. 2), par sa diversité moyenne (4 genres) et, en particulier, la présence de *Parasternbergella amygdaloïdes* et de *Schuleridea extraena* qui peuvent supporter des variations importantes de salinité, souligne un milieu marin marginal plutôt que ouvert, (fig. 62).

LEGENDES DES FIGURES 62 ET 64 à 67

Microflore



Microfaune- Illite / Kaolinite



Indication du milieu
(proximal-distal)

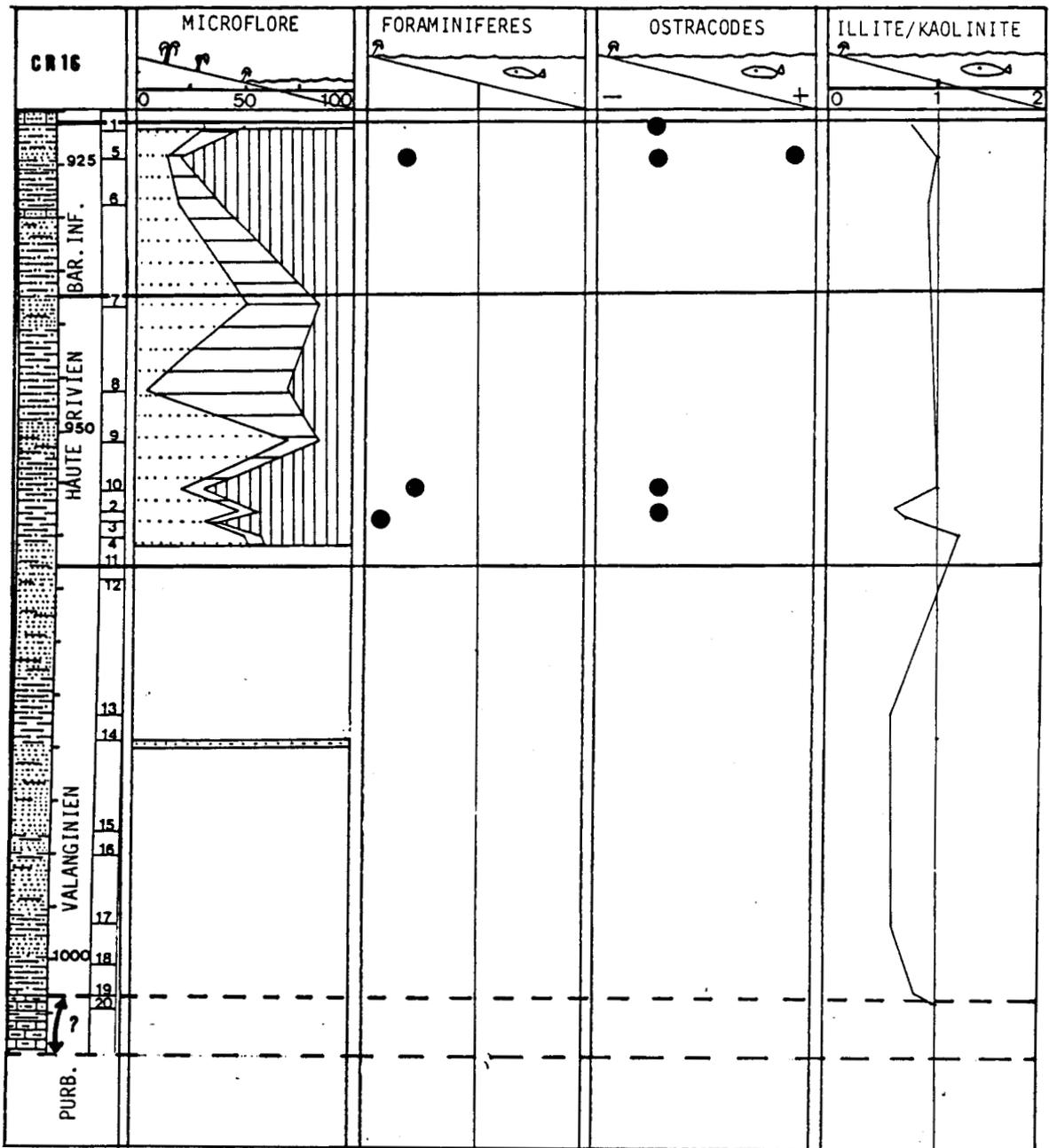


Fig. 62.- Puits CR16 : résultats des analyses micropaléontologiques (microflore-microfaune) et minéralogiques (Illite / Kaolinite). Signification en terme de milieu de dépôt.

Fig. 62.- Well CR16 : Results of micropaleontological analysis (Microfloras-microfaunas). Environment of deposition.

La microfaune de Foraminifères (Vol. 2, Part. IV, fig. 11) confirme ce milieu margino-littoral (Ech. 10) et précise un milieu partiellement saumâtre (Ech. 3), (Bizon, correspondance manuscrite).

Les résultats de la microflore vont dans le même sens. Un comptage a été effectué (Vol. 2, Part. IV, fig. 19) en distinguant deux familles d'individus, les Dinokystes d'une

part, et les spores et pollens d'autre part. Dans cette deuxième famille la proportion de pollens dissacates a été calculée. On constate, fig. 62, dans les échantillons 4, 3, 2, 10 une abondance au moins égale à 50 % des Dinokystes qui sont exclusivement marins au Crétacé inférieur (Châteauneuf et Reyre, 1974) et sont à rattacher à un milieu marin à saumâtre (Batten, 1987).

L'influence marine diminue vers le sommet de l'électroséquence n° 9; elle est très réduite dans l'électroséquence n° 10 où, à l'exclusion de bioclastes à la base, aucune faune marine n'a été décelée et où l'on assiste, (fig. 62), à une nette diminution des Dinokystes relayés par les spores et les pollens. Ce relai traduit l'effacement des influences marines et le rapprochement de la ligne de rivage (Decommer et Chamley, 1981). La proportion importante de pollens dissacates montre que la mer reste proche (Batten, 1974).

L'association de l'électroséquence négative (n° 9) et de l'électroséquence positive (n° 10) constitue une courbe caractéristique en "oeuf" qui correspond à une mésoséquence régressive. On passe progressivement d'un environnement marin, trois-quart inférieurs de l'électroséquence n° 9, à un environnement littoral, quart supérieur, matérialisé par une barre littorale orientée NE-SW (b, fig. 61), le puits CR16 se trouvant sur le flanc Est. La régression se poursuit (électroséquence n° 10) par comblement, émergence et l'installation de chenaux de marée. Une telle évolution peut être paralléliser avec celle observée par Scruton (1960) dans le delta du Mississippi (fig. 63).

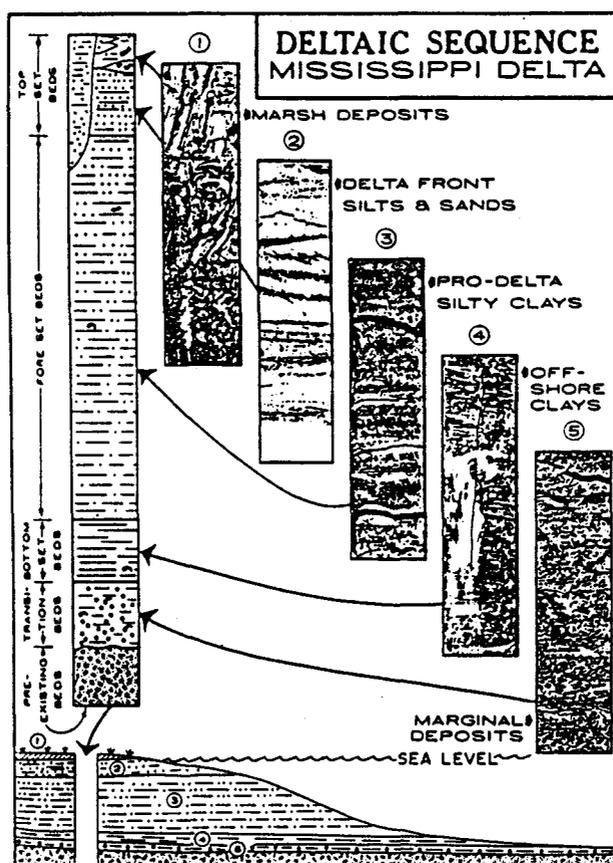


Fig. 63.- Séquence verticale dans le delta du Mississippi (d'après Scruton, 1960).

Fig. 63.- Vertical sequence in the Mississippi delta (from Scruton, 1960).

Le comblement et la continentalisation sont interrompus par un retour à des conditions littorales comme en atteste l'électroséquence n° 11. Elle est constituée de sables très peu argileux (Ech. 7), de couleur verte, "glaucouneux", dépourvus de microfaune et à microflore composée pour moitié de microspores (fig. 62), le complément est fourni, à égalité, par les pollens dissacates et les Dinokystes. On est en présence d'une barre littorale développée parallèlement à la côte NE-SW (c, fig. 61).

Elle résulte du remaniement par la mer des sables fins et des silts préalablement déposés et de dépôts littoraux contemporains plus grossiers; l'analyse granulométrique met en évidence deux modes, le mode 1 sur 125 µm et le mode 2 sur 315 µm (Vol. 2, Part. V, fig. 27). Le puits CR16 se trouve sur le versant Ouest, (c, fig. 61).

Cet épisode transgressif est de faible ampleur puisqu'il atteint son apogée à la partie basale de l'électroséquence n° 12 avec les argiles gris-vert à lits de Lamellibranches. Une régression s'amorce avec le passage progressif à des sables à pelotes ferrugineuses par l'intermédiaire d'argiles silteuses et de silts argileux à stratifications entrecroisées, laminations et surfaces de glissement fréquentes. L'évolution est analogue à celle de l'électroséquence n° 9. Le stade de la continentalisation n'est pas atteint puisque la mer revient de nouveau, électroséquence n° 13, plus durablement et hésitante dans un premier temps (13a) puis franche (13b), (fig. 61). La présence à base de l'électroséquence d'un banc gréseux à ciment carbonaté ainsi que le contenu micropaléontologique atteste de ce retour. Le phytoplancton très abondant (70 à 75 %), (fig. 62), augmente des échantillons 6 à 5. Parallèlement la microfaune est abondante (éch. 5 et 1), (Vol. 2, Part. IV, fig. 1) avec, échantillon 5, des Foraminifères (Vol. 2, Part. IV, fig. 11) indicateurs d'un milieu marin interne et des Ostracodes dont l'association riche de cinq genres et, notamment, la présence de *Protocythere* sp et de *Centrocythere sculpta*, n'exclut pas un milieu marin ouvert (fig. 62). La faune d'Ostracodes de l'échantillon 1, avec quatre genres et l'absence de formes typiques d'un milieu marin ouvert, suggère un milieu marin marginal susceptibles de tendances à la dessalure, (fig. 62).

Les caractéristiques de l'électroséquences n° 13 et de son lithofaciès avec des argiles noires à rares liserés de grès à ciment carbonaté (Ech. 1), localement verdâtres, "glaucouneuses" (Ech. 5 et 6), à lignite très rare et à lithoclastes ferrugineux permettent de proposer un environnement de type marais maritime entrecoupé de chenaux de marée.

c- L'électroséquence n° 8 du Valanginien supérieur.

L'électroséquence n° 8 (fig. 61) se compose du bas vers le haut, des électroséquences 8a, 8b1 et 8b2.

L'électroséquence n° 8a est constituée d'argile silteuse, bioturbée, à passées ligniteuses (Ech. 13). L'électroséquence n° 8b correspond à un grès gris à ciment argileux à la base (8b1) peu abondant, devenant argilo-carbonaté dans l'électroséquence n° 8b2 qui débute par des nodules ou galets argilo-dolomitiques et renferme des bioclastes. L'analyse granulométrique (Ech. 12 et 11), (Vol. 2, Part. V, fig. 28 et 29) indique, dans les deux cas, un très bon classement ($S_0 = 1,10$ et $1,14$), une diminution du grain moyen (143 µm, éch. 12; 130 µm, éch. 11). La microfaune et la microflore sont absentes.

Cette électroséquence constitue une transition entre le domaine continental (électroséquences 1 à 7) et le domaine marin (électroséquences 9 à 13). On passe ainsi, progressivement, d'un réseau fluvial en tresse progradant (électroséquences n° 1 à 7) à un système fluvial méandrique (8b) à caractère rétrograde par rapport au précédent, (Russel, 1954). La transition est marquée par un envasement (8a). Le contact entre 8a et 8b est marqué par des surfaces de glissement et des galets mous argileux. Le méandre s'installe au sommet de 8b1 et en 8b2 avec déplacement vers le NE (a, fig. 61), bien marqué par le pendage des laminations typique d'une barre de méandre.

La diminution de la dynamique fluviale correspond à une diminution de la charge et / ou du débit (Coleman, 1969) et / ou de la pente (Leopold et Wolman, 1957), consécutif(s) à un aplanissement des reliefs "amont" et / ou à un comblement du bassin de sédimentation.

Le puits CR16 passe ainsi d'une situation "amont" à une situation "aval", ce qui traduit un mécanisme annonciateur de la transgression hauterivienne précédée des dépôts "mixtes", de l'électroséquence n° 8b2, par la présence de bioturbations dans un sable fin, bioclastique dans lequel s'intercale un niveau de sables moyens à grossiers à galets d'argile carbonatée.

4- Conclusion.

Les formations wealdiennes au puits CR16 se sont déposées dans un environnement continental au Valanginien et marin à l'Hauterivien-Barrémien inférieur. Cette modification du milieu est également reflétée et confirmée par les variations des cortèges argileux et les assemblages microfloristiques (fig. 62).

L'évolution du rapport I (%) / K (%) montre, la valeur 1 étant prise comme repère, un enrichissement en illite à l'Hauterivien-Barrémien inférieur. Le phénomène (Chap. IV, VI, B) avait été interprété en termes de modifications tectono-climatiques. A ce phénomène se surimpose un processus de tri granulométrique envisagé précédemment (Chap. IV, V, D), (fig. 59). La mise en évidence d'un milieu marin et donc une position "aval" à l'Hauterivien-Barrémien inférieur participe à expliquer la diminution relative de la kaolinite par une sédimentation graduelle par tri granulométrique (Thiry, 1981) et sa floculation plus rapide suite à l'augmentation de la salinité (Whitehouse *et al*, 1960).

L'évolution des assemblages microfloristiques (fig. 62) souligne également cette modification du milieu puisque la prédominance des spores confère un cachet continental tandis que l'apparition des Dinokystes indique un milieu marin. Les variations dans les abondances relatives des spores-pollens et des Dinokystes reflètent parfaitement les oscillations du niveau marin et des passages proximal-distal du milieu de dépôt :

- les taux élevés de Dinokystes, base et sommet de l'Hauterivien-Barrémien inférieur correspondent à un milieu de dépôt distal;
- le recul des Dinokystes, lorsqu'il est compensé par les pollens dissacates traduit un milieu proximal et l'augmentation des microspores indique une tendance à l'émersion.

D- Evolution spatio-temporelle des milieux de sédimentation mis en évidence au puits CR16.

L'évolution latérale des milieux de sédimentation sur le site de Germigny-sous-Coulombs sera suivie, à partir du CR16, vers le Nord-Est (CR2) et vers le Nord-Ouest (CR3, CR15, CR7). Les données de la microfaune vont permettre de rechercher les deux milieux définis précédemment; la microflore et les milieux argileux (I / K) mettant en évidence le passage de l'un à l'autre.

L'évolution du dispositif de dépôt des formations wealdiennes dans les deux milieux pré-établis sera suivie à partir des électroséquences aux puits CR9, CR16, CR12 et CR7, du Sud-Est vers le Nord-Ouest.

1- Evolution spatio-temporelle.

La microfaune (Foraminifères) indique que la transgression hauterivienne a atteint les forages CR15 et CR2. Le milieu est de type littoral à margino-littoral au CR15, éch. 8, (fig. 64), (Vol. 2, Part. IV, fig. 11) et de type plateforme externe au CR2, éch. 4, (fig. 65), (Vol. 2, Part. IV, fig. 11). La transgression du Barrémien inférieur recouvre l'ensemble du

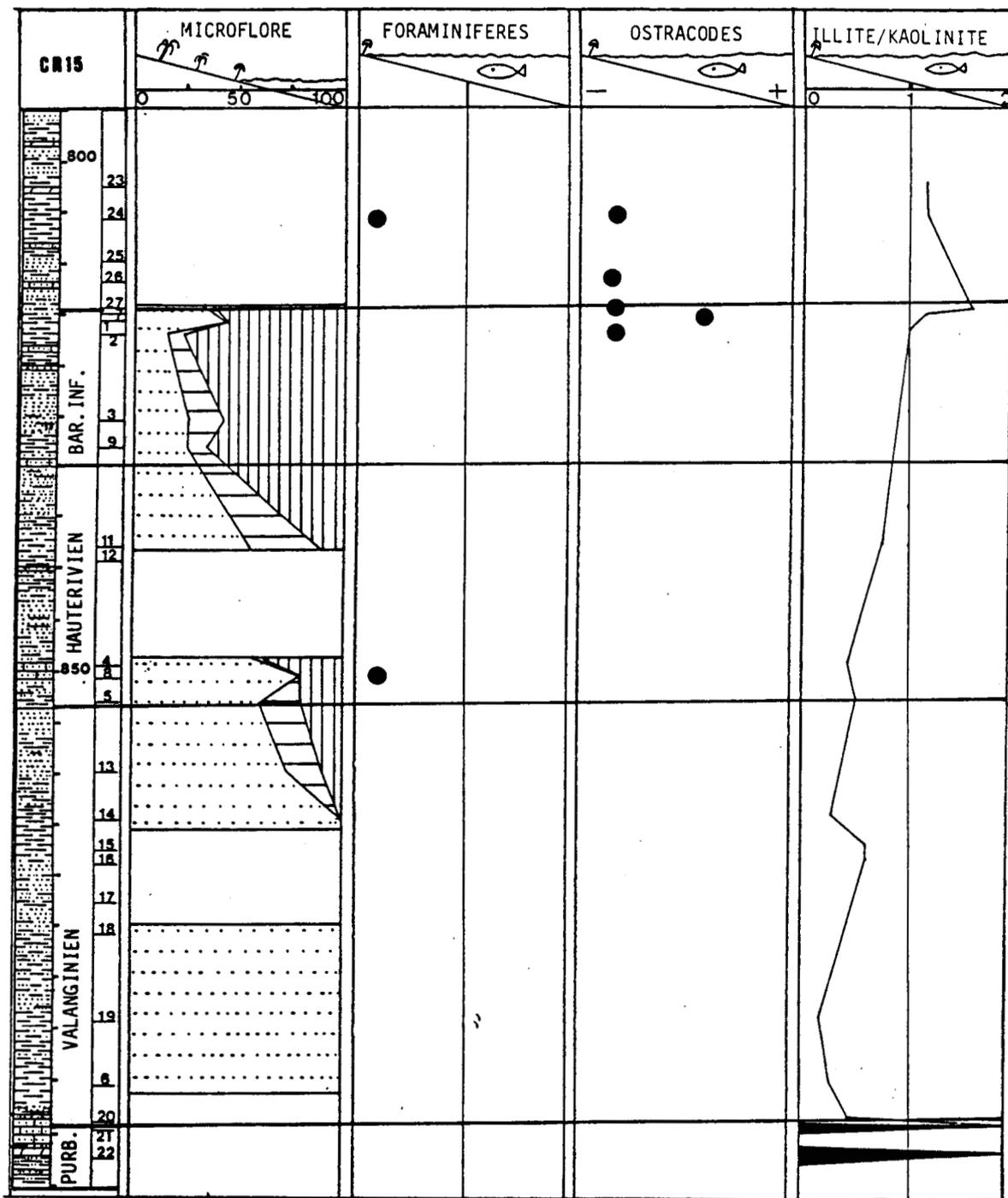


Fig. 64.- Puits CR15 : résultats des analyses micropaléontologiques (microflore-microfaune) et minéralogiques (Illite / Kaolinite). Signification en terme de milieu de dépôt.

Fig. 64.- Well CR15 : Results of micropaleontological analysis (Microfloras-microfaunas). Environment of deposition.

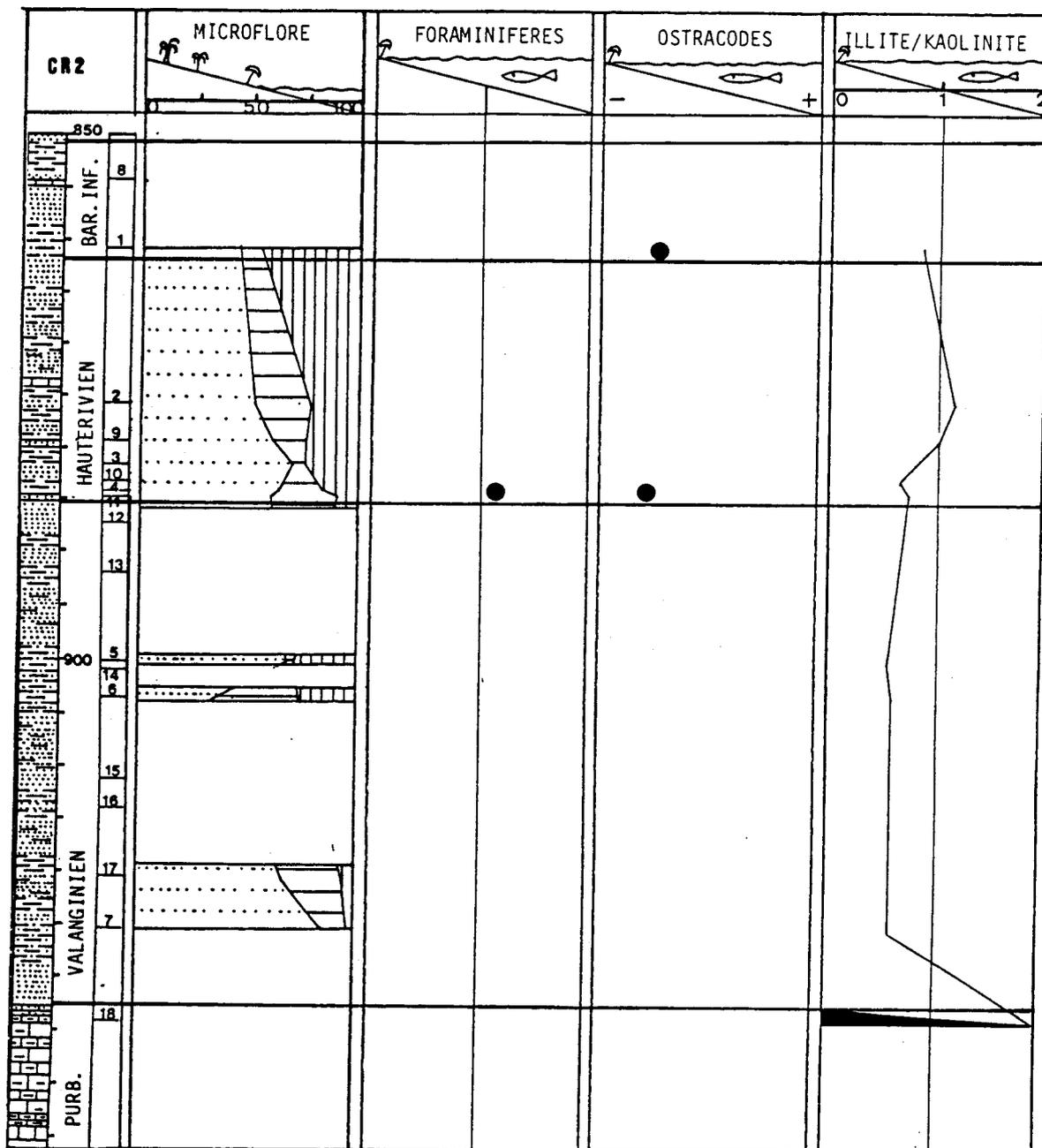


Fig. 65.- Puits CR2 : résultats des analyses micropaléontologiques (microflore-microfaune) et minéralogiques (Illite / Kaolinite). Signification en terme de milieu de dépôt.

Fig. 65.- Well CR2 : Results of micropaleontological analysis (Microfloras-microfaunas). Environment of deposition.

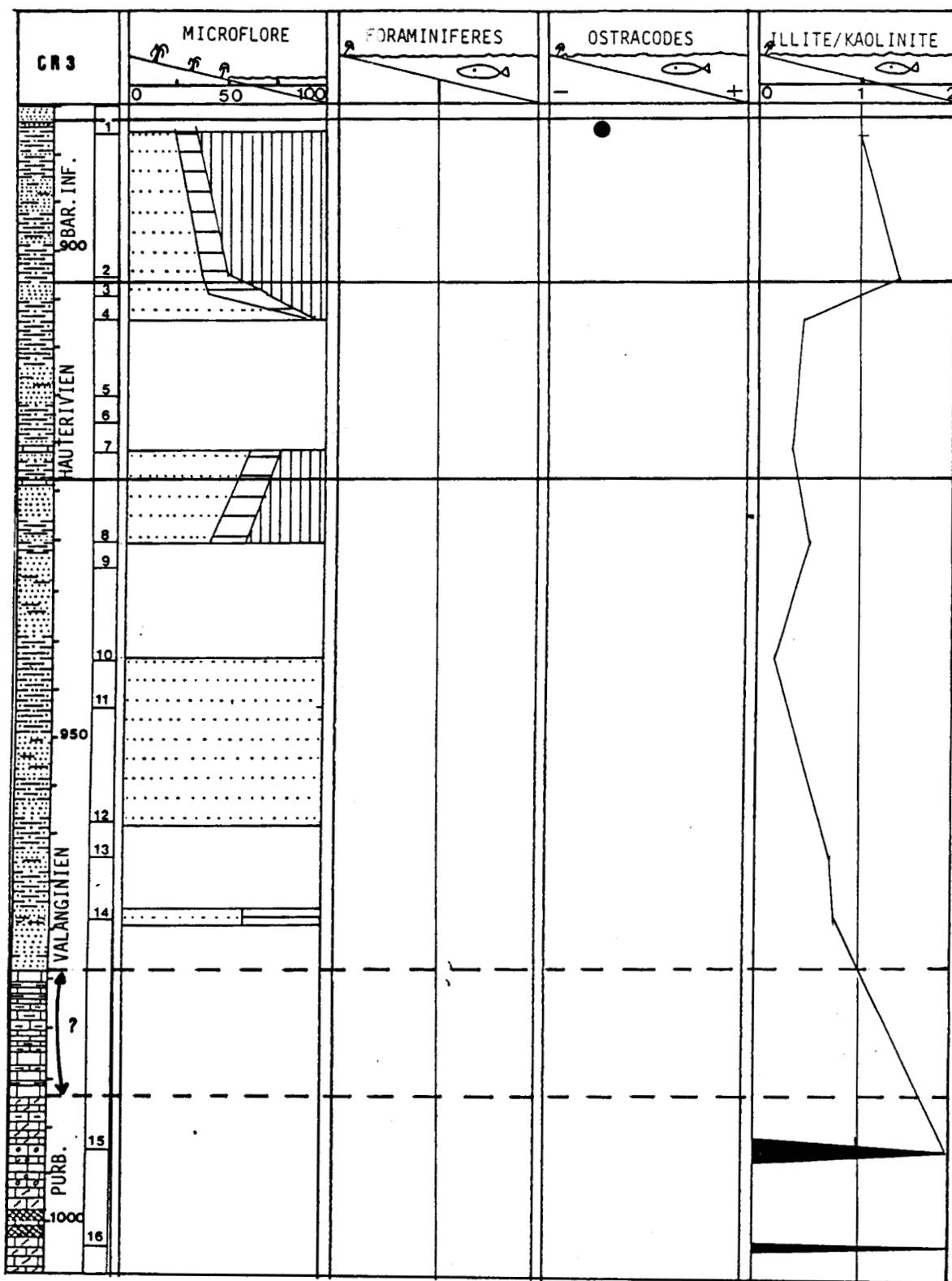


Fig. 66.- Puits CR3 : résultats des analyses micropaléontologiques (microflore-microfaune) et minéralogiques (Illite / Kaolinite). Signification en terme de milieu de dépôt.

Fig. 66.- Well CR3 : Results of micropaleontological analysis (Microfloras-microfaunas). Environment of deposition.

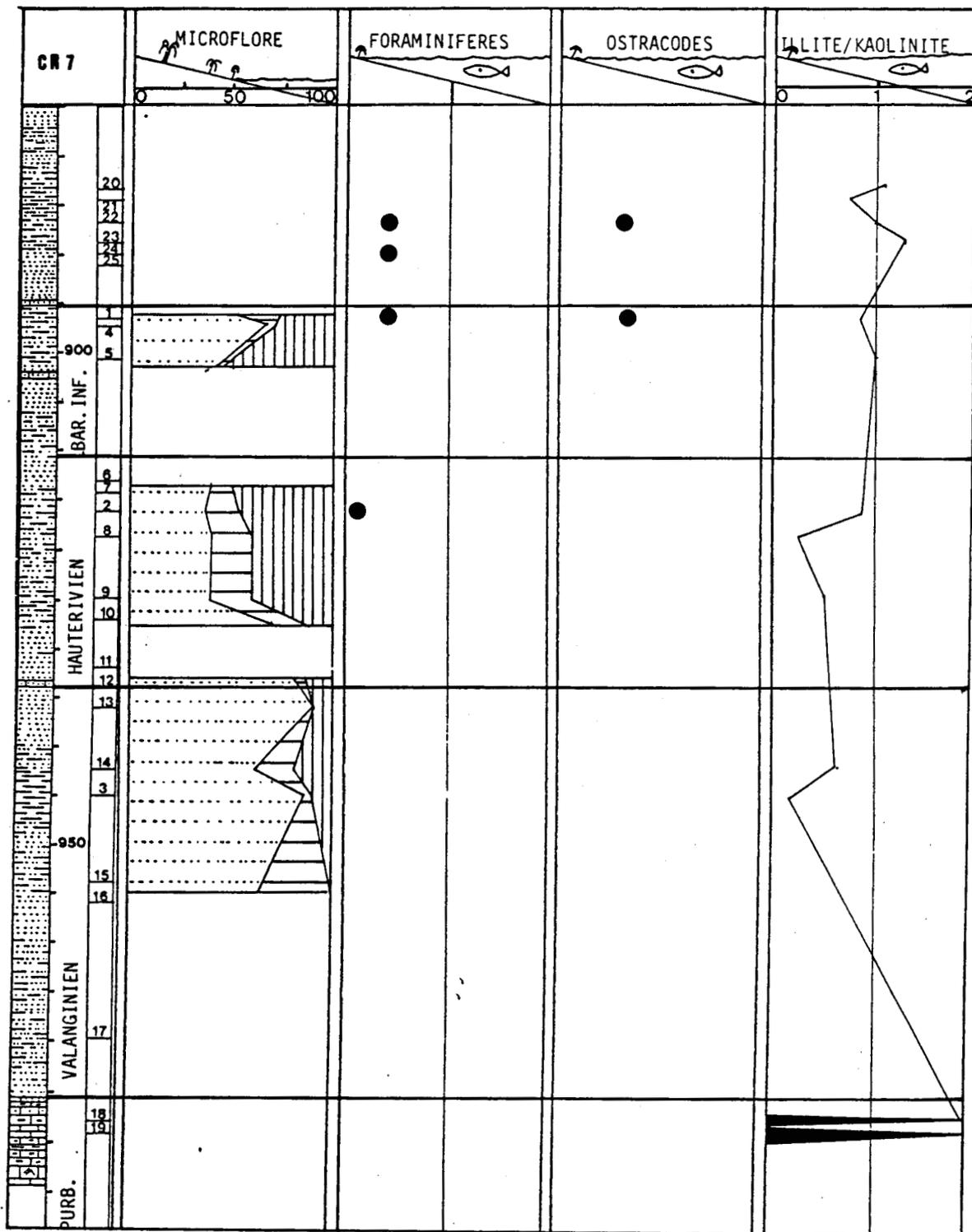


Fig. 67.- Puits CR7 : résultats des analyses micropaléontologiques (microflore-microfaune) et minéralogiques (Illite / Kaolinite). Signification en terme de milieu de dépôt.

Fig. 67.- Well CR7 : Results of micropaleontological analysis (Microfloras-microfaunas). Environment of deposition.

secteur de Germigny-sous-Coulombs. La faune d'Ostracodes (Vol. 2, Part. V, fig. 2) composée des genres *Ascrocythere* (éch. CR2-1, CR3-1, CR7-1), *Schuleridea* (éch. CR2-1, CR3-1, CR7-1, CR15-1, CR15-2-) et *Metacytheropteron* (éch. CR3-1, CR7-1), indique un milieu marin à marin marginal, (fig. 64 à 67). Des restes de Vertébrés (Poissons) dans les premiers niveaux sus-jacents aux formations wealdiennes des puits CR7 (éch. 22 et 24) et CR15 (éch. 24) attribués aux genres *Lissodus* sp. et *Hybodus* sp. caractérisent des milieux littoraux lagunaires (Gayet, correspondance manuscrite). Ceci indique, soit l'avortement de la transgression, soit son extension extrême.

De la même façon qu'au puits CR16 (fig. 64 à 67), les assemblages microfloristiques composés exclusivement de microspores au Valanginien, se diversifient dès le Valanginien terminal avec l'apparition progressive des pollens dissacates et des Dinokystes. Parallèlement, le rapport I/K est plus élevé à partir de l'Hauterivien. Ce phénomène, à l'exception du puits CR2, est moins net qu'au puits CR16 à l'Hauterivien mais aussi marqué au Barrémien inférieur.

Ces résultats, ajoutés à ceux de l'analyse des lithofaciès mettent en évidence des modifications spatio-temporelles du contexte sédimentaire (fig. 68) :

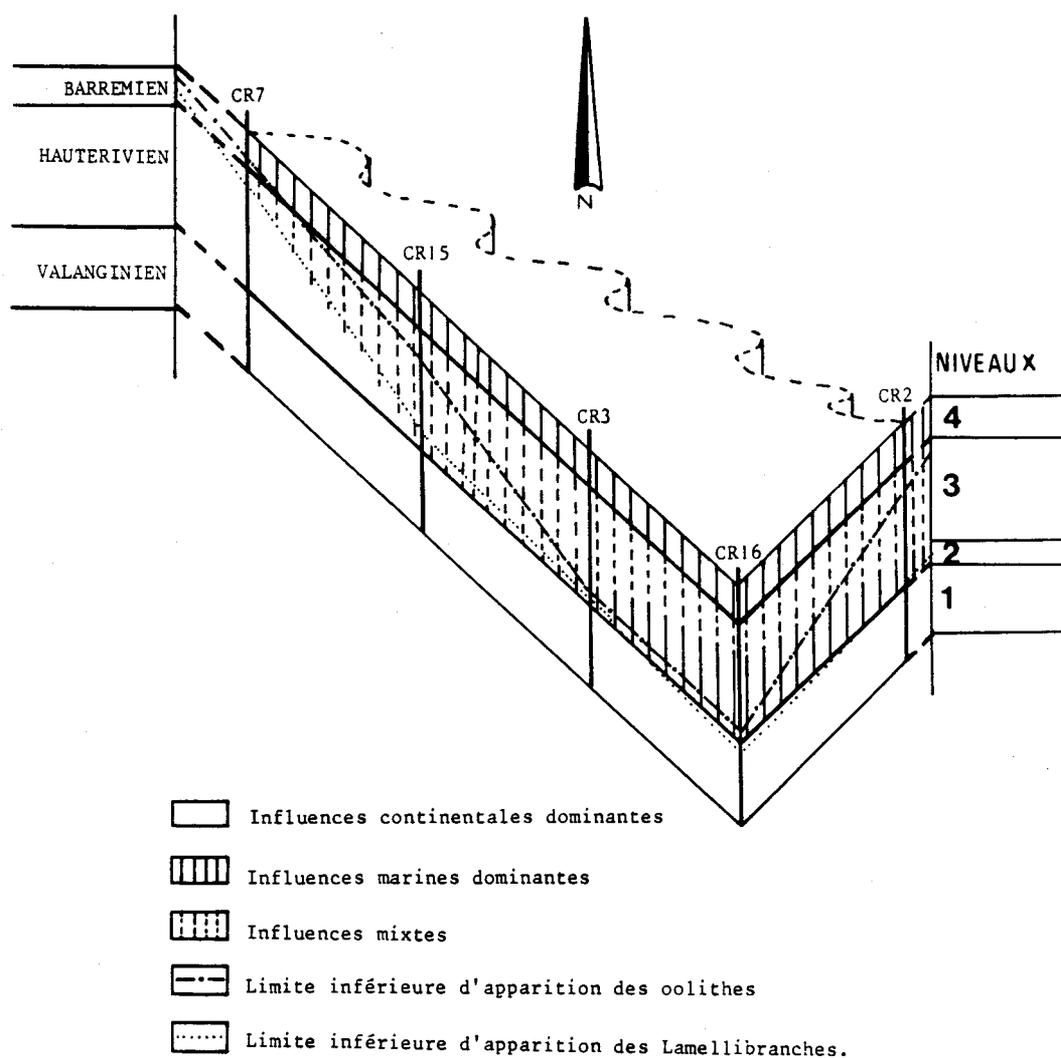


Fig. 68.- Evolution schématique des contextes sédimentaires sur le site de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 68.- Schematical evolution of the sedimentary environments in the Germigny-sous-Coulombs' area.

- au Valanginien (niveau 1) l'environnement est continental; la pyrite, abondante, traduit un milieu confiné, réducteur. Le contraste amont (NW) - aval (SE) est souligné par les abondances relatives de la kaolinite et de l'illite, (fig. 59);

- à la base de l'Hauterivien (niveau 2), l'environnement est marin avec diminution de l'influence du Sud-Est vers le Nord-Ouest. Cette polarité est soulignée par les limites inférieures d'apparition des horizons à pelotes ferrugineuses et à Lamellibranches;

- un milieu de type intermédiaire (niveau 3), voire mixte, lui succède, à caractère marin dominant au Sud et continental au Nord. Au sein de ce niveau l'alternance de pelotes de différentes natures minéralogiques (fig. 42) témoigne des oscillations du niveau marin et de modifications physico-chimiques, (Cotillon, 1960; Giresse, 1969). La diminution de la pyrite, l'apparition des pelotes ferrugineuses indiquent un milieu littoral, agité, oxydant (Millot, 1964),

du type haut-fond sableux et zone de déferlement (Odin et Giresse, 1973) dans un système deltaïque favorable à la formation (néogène ?) de phyllosilicates verts (Klein, 1973).

- au Barrémien inférieur (niveau 4), l'environnement est de nouveau marin mais homogène et continu à l'échelle de la zone étudiée. Une distinction amont-aval ne persiste (fig. 59) qu'au-delà du puits CR15 vers le puits CR7.

2- Evolution spatio-temporelle des modalités de dépôt (fig. 69).

L'analyse électroséquentielle va permettre de suivre l'évolution latérale des modalités de dépôt. Celle-ci sera suivie dans le sens des transgressions mises en évidence précédemment, du Sud-Est avec le forage CR9, au Nord-Ouest, forage CR7 en passant successivement par les forages CR16 et CR12. Une partie des informations relatives aux puits CR9 et CR2 sont dues, respectivement, à Salik (1983) et Chevalier (1986).

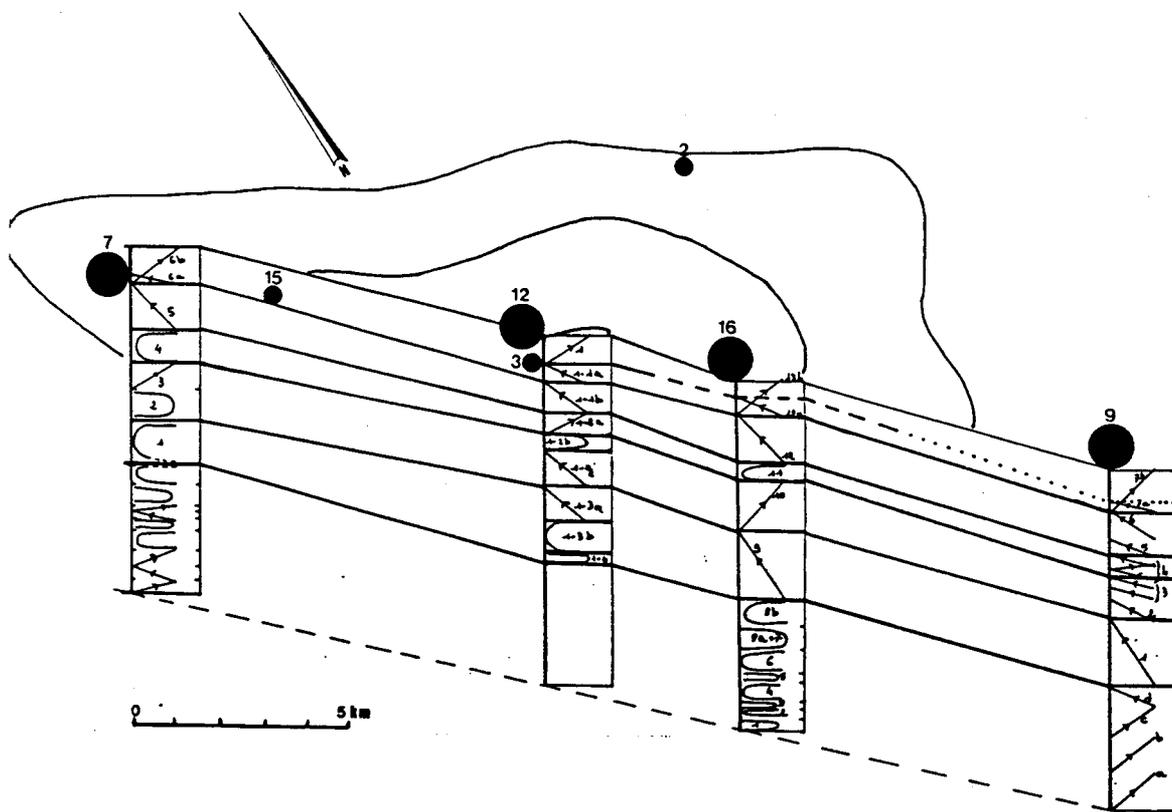


Fig. 69.- Site de Germigny-sous-Coulombs. Corrélation des électroséquences, puits CR9, CR16, CR12, CR7.

Fig. 69.- Germigny-sous-Coulombs site; correlation of the electrosequences : well CR9, CR16, CR12, CR7.

a- Le Valanginien.

Le valanginien, puits CR9, est organisé en trois électroséquences granodécroissantes (fig. 69; a, b, c), en forme de "cloche" ou positives ayant chacune un contact basal très net, érosif et se terminant par des argiles riches en lignite. Ces électroséquences sont interprétées (fig. 70) comme des remplissages de chenaux et indiquent une sédimentation de type fluviatile dans cette partie du bassin, (fig. 71). Au-dessus, l'électroséquence (d) négative se compose de sables propres intercalés de quelques niveaux argileux. Sa lithologie, son évolution verticale et latérale la rattachent à un milieu fluvio-littoral (barres d'embouchure, cordons littoraux

COUPE SCHEMATIQUE DE SEQUENCES SABLEUSES

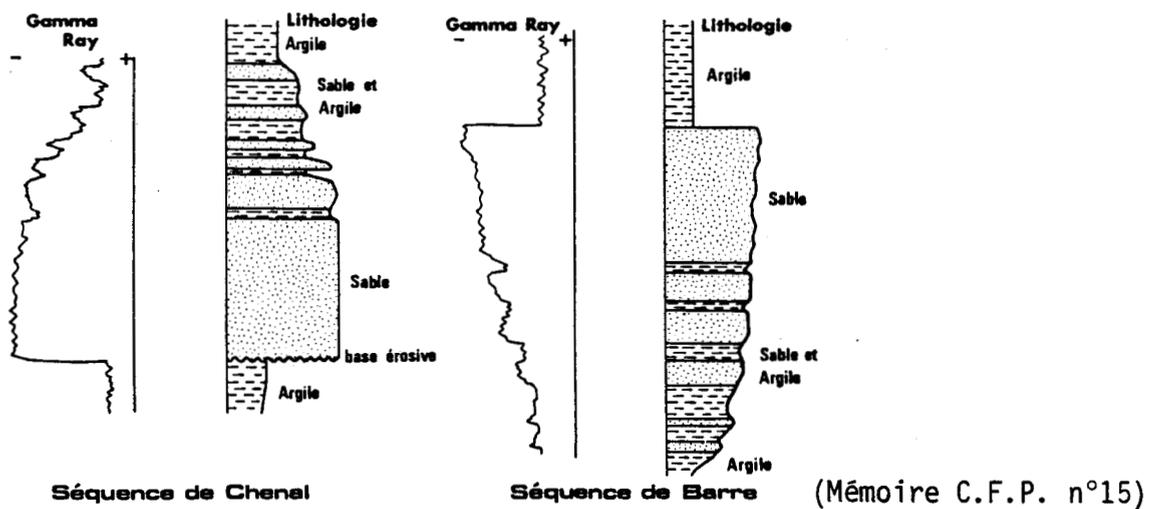


Fig. 70.- Coupe schématique des séquences sableuses.

Fig. 70.- Logs of sandy sequences.

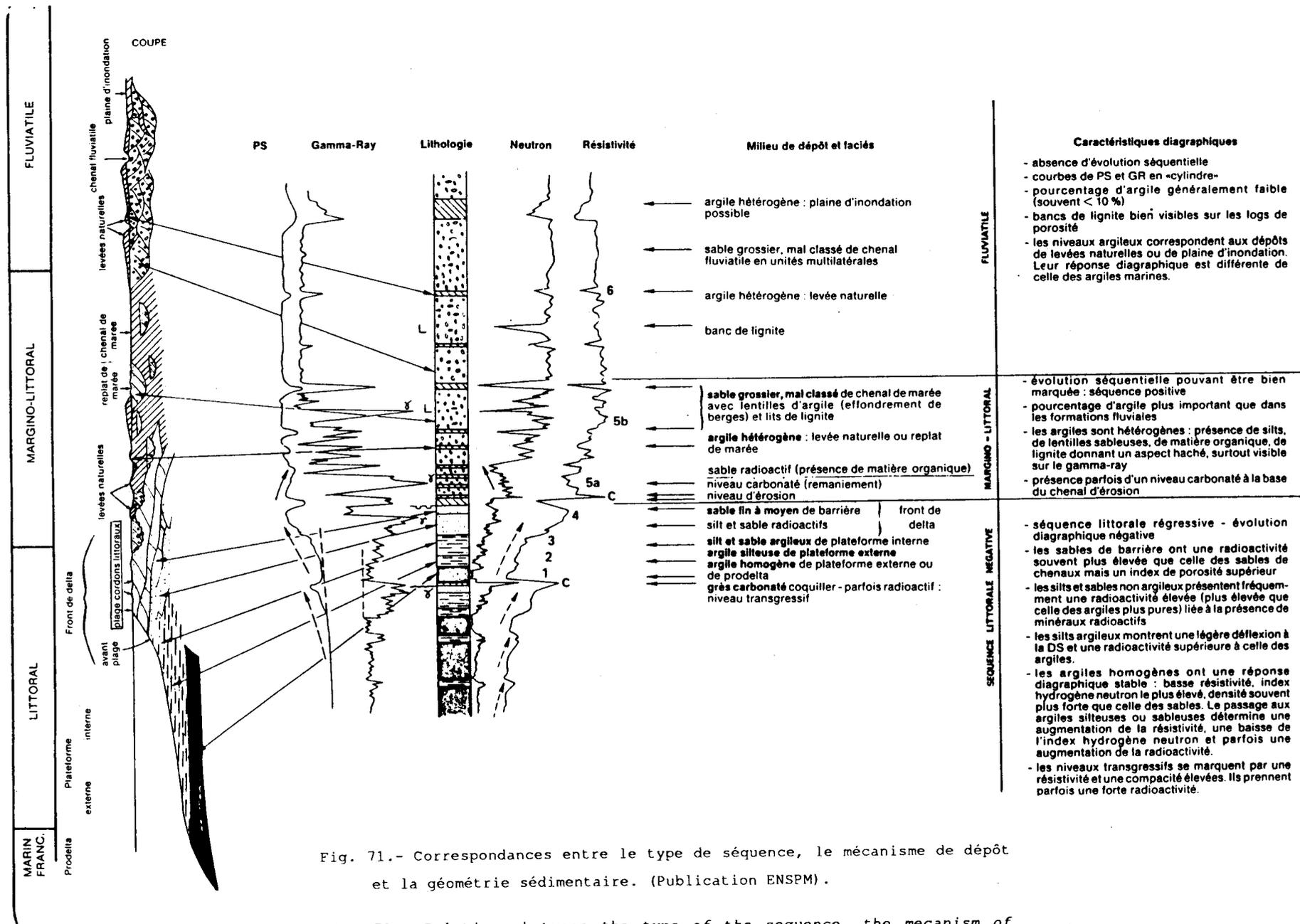
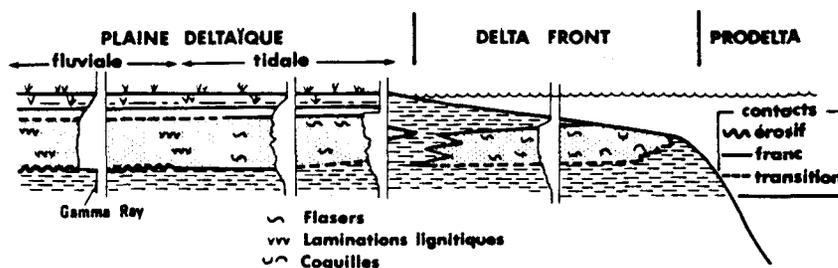


Fig. 71.- Correspondances entre le type de séquence, le mécanisme de dépôt et la géométrie sédimentaire. (Publication ENSPM).

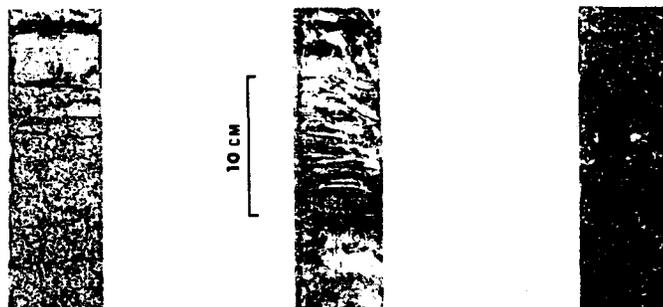
Fig. 71.- Relations between the type of the sequence, the mechanism of deposit and the sedimentary environment.

EVOLUTION AMONT-AVAL DES CARACTERES DES CORPS SABLEUX



Barre d'accrétion latérale

Barre de delta front



IMPORTANCE RELATIVE DES CRITERES FACIOLOGIQUES

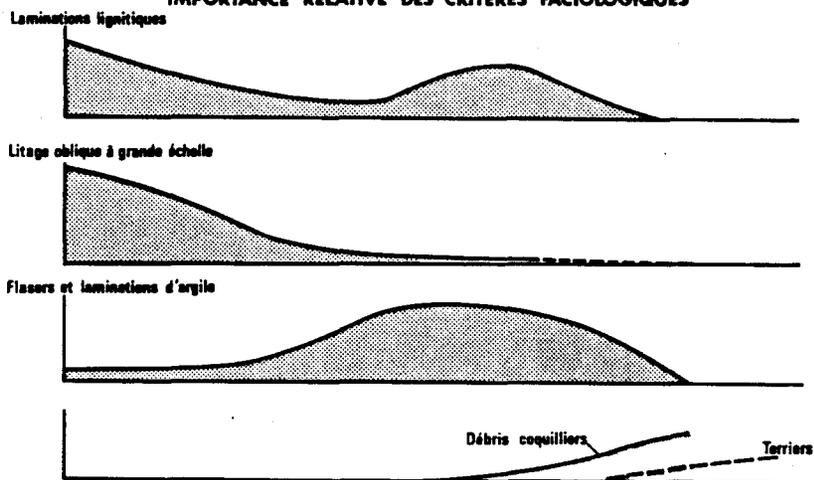


Fig. 72.- Evolution amont-aval des caractères des corps sableux.
(Publication ENSPM).

Fig. 72.- Upstream-downstream evolution of the sandy bodies.

coalescents), (Salik, 1983), intermédiaire entre les milieux continental précédent et marin de l'Hauterivien. Aucune des électroséquences positives ne se corrèlent d'un puits à l'autre, ce qui confirme l'interprétation des chenaux fluviatiles. La fréquence croissante des électroséquences vers le Nord-Ouest, particulièrement la présence et l'abondance d'électroséquences sans évolution séquentielle (cylindres positifs et négatifs) traduit le passage aval-amont selon cette polarité, (fig. 72).

b- L'Hauterivien-Barrémien inférieur.

L'Hauterivien, forage CR9, (fig. 69), débute par un banc calcaire compacte, très bioclastique et riche en pelotes ferrugineuses signifiant un premier retour à un milieu marin. Ce banc est à la base d'une électroséquence négative (n° 1) correspondant au passage d'argile à des silts argileux à pelotes ferrugineuses et à des grès. La diminution des bioclastes et l'augmentation du lignite soulignent le passage à un milieu littoral. Au sein de cette électroséquence, des séquences (épaisseur de 1 à 5 m) composées d'argiles à passées silteuses, puis de sables fins et, enfin, de sables grossiers à stratifications entrecroisées évoquent une ride sableuse. Cette évolution se suit vers le forage CR16 (électroséquence n° 9). Plus au Nord, au forage CR12, l'épisode marin est très bref (électroséquence n° 1-4) et l'on passe rapidement (électroséquence n° 1-3a) à des dépôts littoraux par un intermède en milieu marin sous-salé, très peu profond, à empreinte fluviale (électroséquence n° 1-3b). Celle-ci est mieux développée vers e Nord (CR7, électroséquence n° 1), n'existe pas au Sud; parallèlement l'électroséquence suivante (n° 1-3a) disparaît au Nord et prend de l'importance au Sud.

La base de l'électroséquence n° 2, forage CR9, montre une reprise marine vite avortée à laquelle succède un domaine margino-littoral devenant de plus en plus proximal et hésitant (électroséquence n° 3). Ce domaine passe, vers le Nord, à un milieu littoral (CR16, électroséquence n° 10), (CR2, électroséquence n° 1-2c) et continental (CR7, électroséquences n° 2 et 3) se terminant par un envasement et émerision (CR12, électroséquence n° 1-2b; Chevalier, 1986).

L'épisode marin debutant à la base du Barrémien inférieur est précédé, forage CR9, par un épisode laguno-marin (électroséquence n° 4) qui passe, vers le Nord, à un milieu littoral (CR16, électroséquence n° 11), à l'installation de chenaux de marée (CR12, électroséquence n° 1-2a) et de chenaux fluviatiles (CR7, électroséquence n° 4). La transgression proprement dite (CR9, électroséquences n° 5 à 7) est généralisée (CR16, électroséquences n° 12 et 13; CR12, électroséquences n° 1-1b, 1-1a, 1; CR7, électroséquences n° 5 et 6). Elle est d'abord hésitante avec des retours à des conditions médio-littorales (chenaux de marée) (CR9, électroséquences n° 5, 6 et 7a). Ces soubresauts régressifs n'ont pas tous un écho vers le Nord où la fréquence des électroséquences négatives, mieux développées par ailleurs, diminue.

3- Conclusion.

Il ressort des analyses précédentes que le "faciès wealdien" de Germigny-sous-Coulombs s'est déposé dans un environnement sédimentaire évoluant dans le temps et dans l'espace.

Les argiles et les sables du Valanginien résultent d'un épandage fluviale à la base (R3 de G.d.F., Vol. 2, Part. I, fig. 4 à 8), fluvio-littoral au sommet (R2 de G.d.F., Vol. 2, Part. I, fig. 4 à 8) témoignant d'une légère influence marine.

Les dépôts de l'Hauterivien et du Barrémien inférieur (C1, R1, C.W. de G.d.F., Vol. 2, Part. I, fig. 4 à 8) présentent un caractère littoral, épisodiquement marin franc, de type fluvio-deltaïque.

La mer hauterivienne (fig. 68) n'envahit que la partie SE tandis que la mer Barrémienne occupera la totalité du site de Germigny-sous-Coulombs.

Une analyse des résultats C. P. I. (Computer Process Interpretation) et de la pendagemétrie ainsi qu'une étude des variations en épaisseur des divers niveaux de G.d.F. (méthode du krigeage) à partir de la totalité des forages de Germigny-sous-Coulombs ont été effectués par Leblanc (1984), Lamiroux (1984) et Chevalier (1986). Plusieurs traits principaux apparaissent (fig. 73) :

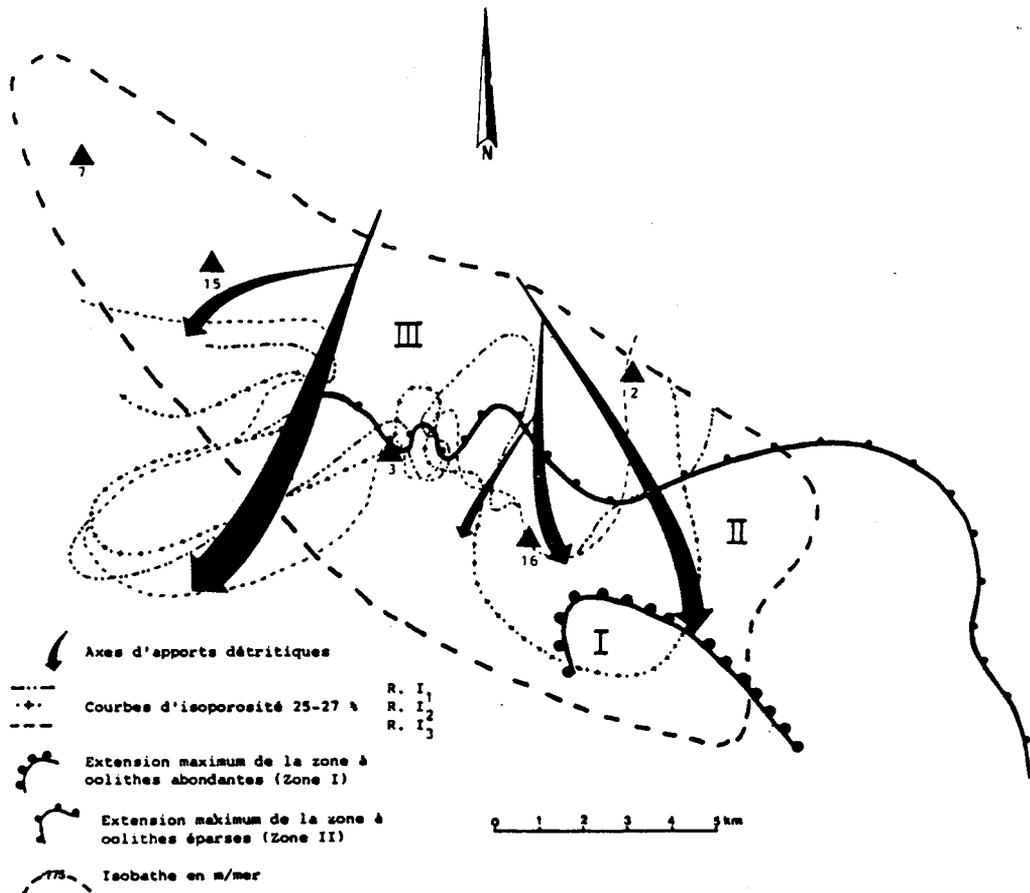


Fig. 73.- Répartition des oolithes et des principaux axes fluviatiles de l'Hauterivien au Barrémien inférieur dans la région de Germigny-sous-Coulombs.

Fig. 73.- Geographical evolution of the ooliths and of the main fluvial axis since the Hauterivian to the Lower Barremian in the Germigny-sous-Coulombs' area.

1- deux axes d'apports détritiques orientés NE-SW. Ces chenaux restent un élément dominant durant tout le "Wealdien" avec un déplacement du niveau R3 au niveau R1 vers le Nord-Ouest, comme le montre l'évolution des courbes d'isoporosité (valeur 25-27 %) des trois unités hydrauliques distinguées par G.d.F. (R11, R12, R13, Vol. 2, Part. IF, fig. 4 à 8).

2- la représentation de l'extension géographique des oolithes ferrugineuses dans le banc correspondant à la transgression hauterivienne permet de distinguer une zone I au Sud-Est à

oolithes abondantes, une zone II médiane à oolithes éparées et une zone III au Nord dépourvue d'oolithes.

A partir de l'ensemble de ces résultats, une reconstitution paléogéographique peut être proposée (fig. 74a et 74 b) :

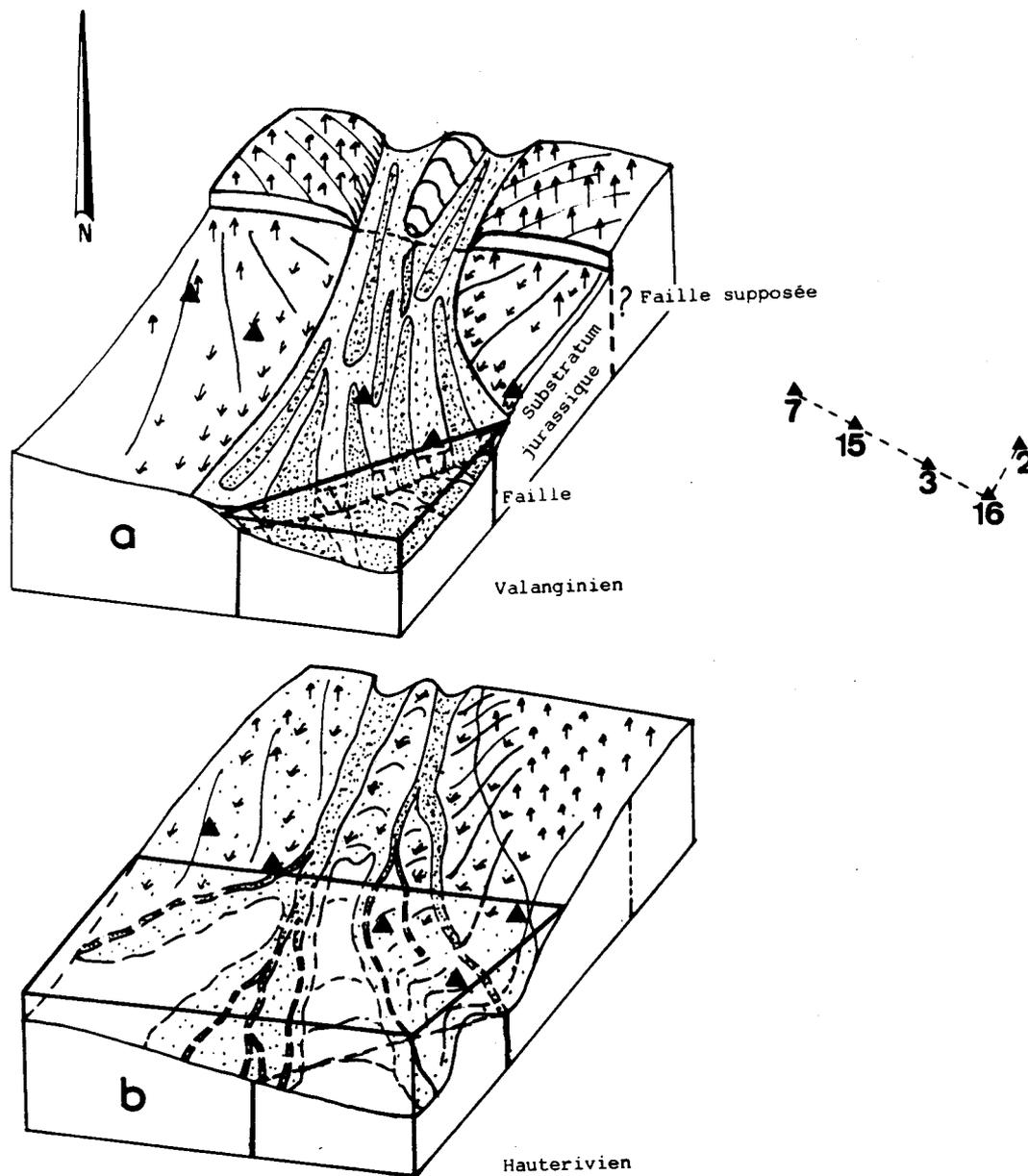
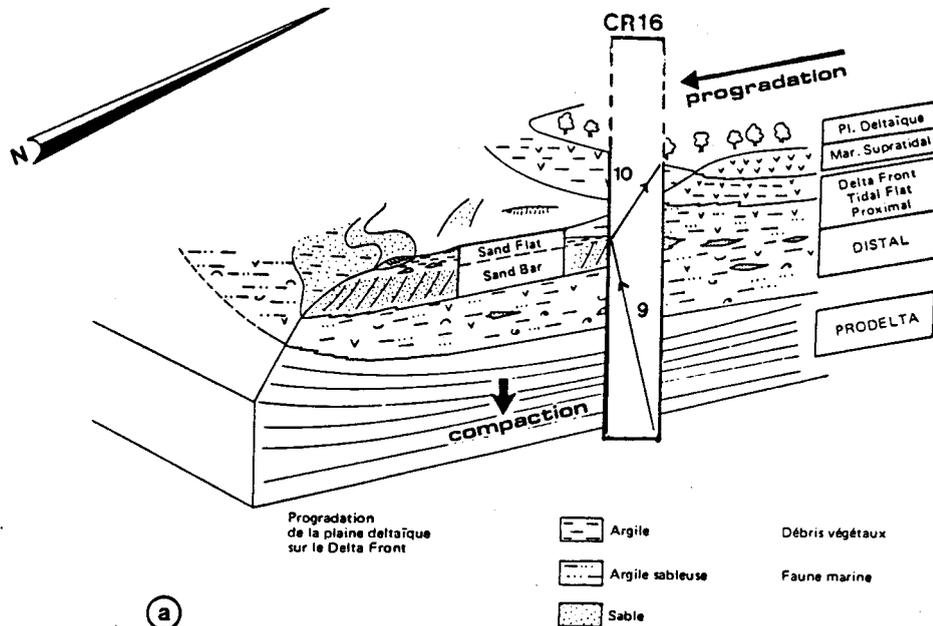
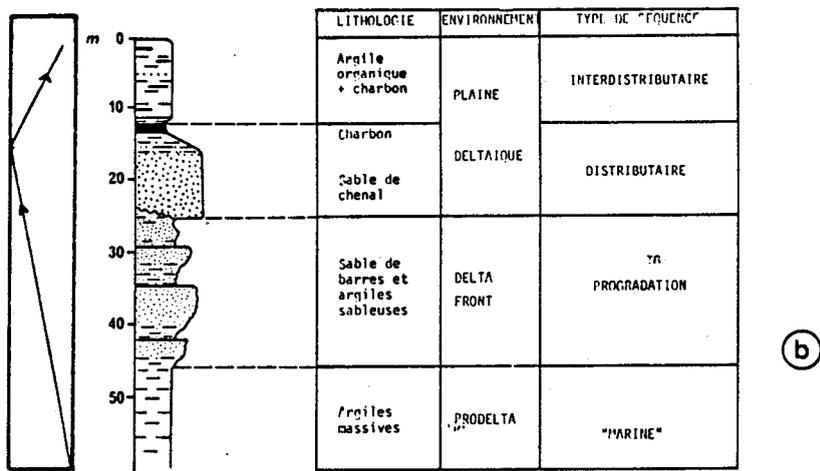


Fig. 74.- Paléogéographie de la région de Germigny-sous-Coulombs au Valanginien (a) et à l'Hauterivien basal (b).

Fig. 74.- Paleogeography of the Germigny-sous-Coulombs' country during Valanginian (a) and Lower Hauterivian. (b).

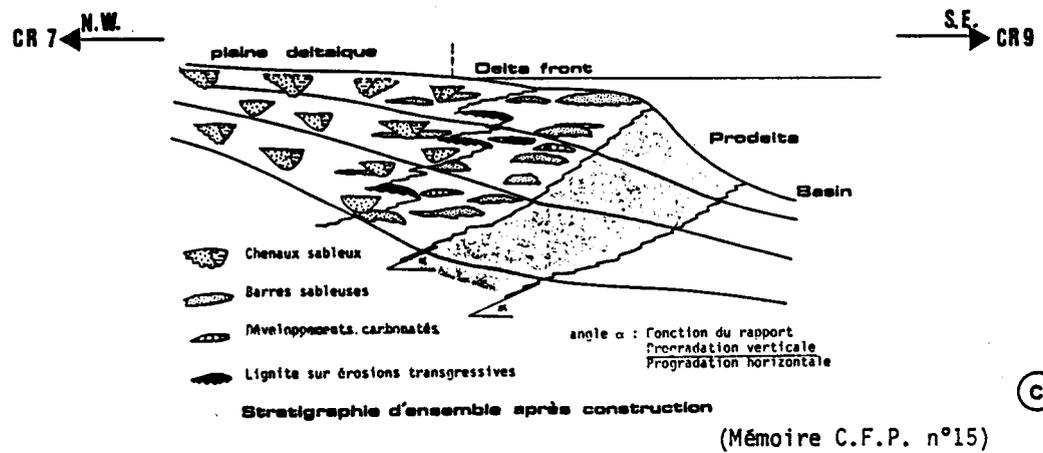


(a)



(b)

Coupe sédimentaire d'une séquence complète



(c)

(Mémoire C.F.P. n°15)

Fig. 75.- Progradation de la plaine deltaïque sur le front de delta (a); coupe sédimentaire d'une séquence complète et stratigraphie d'ensemble après construction (b); application à Germigny-sous-Coulombs (c); (Publication ENSPM).

Fig. 75.- Progradation of the delta plain on the delta front (a); sedimentology log of a sequence and stratigraphy after the building (b); application to the Germigny-sous-Coulombs site (c).

- *au Valanginien*, les formations continentales à Germigny-sous-Coulombs correspondent à un environnement fluviatile en tresse (cf. Chap. V) marqué par deux drains principaux orientés NE-SW et NNW-SSE; un drain majeur est situé entre le CR15 et le CR3, un drain mineur entre le CR16 et le CR2;

- *à l'Hauterivien*, venant du détroit de Bourgogne, une mer peu profonde transgresse vers le Sud-Est du site de Germigny-sous-Coulombs sur une paléogéographie irrégulière illustrée par la zone à oolithes ferrugineuses abondantes (zone I) qui correspondrait à un haut-fond. L'irrégularité du haut-fond est appuyée par le non recouvrement complet de la région transgressée par la mer Hauterivienne par les zones à oolithes. Pendant cette période, le réseau fluviatile, alors méandrique, perd son dynamisme. Les drains principaux subsistent mais les sables sont repris par les courants côtiers qui édifient des cordons littoraux parallèles au rivage (globalement SW-NE), (cf. l'analyse électroséquentielle). On constate ainsi que l'architecture sera bidirectionnelle. Les trois-quarts supérieurs de l'Hauterivien correspondent à un épisode régressif sans disparition totale de la mer. On assiste, en effet, à une période d'oscillations du niveau marin traduites par les positions successives des courbes d'isoporosité et montrées lors de l'analyse électroséquentielle par les positions successives du puits CR16 par rapport aux barres sableuses. L'environnement est qualifié de deltaïque. L'organisation des électroséquences suggère deux épisodes de progradation, la première représentée par les électroséquences n° 9 et 10, la seconde par les électroséquences n° 11 à 13a, forage CR16, d'une plaine deltaïque sur le front de delta en période de transgression (fig. 75a et 75b).

- *au Barrémien inférieur*, une mer peu profonde conquiert brièvement la totalité de la zone d'étude. L'absence d'une faune profonde, la présence d'oolithes sous forme d'agrégoclastes au moins localement, suggérant un remaniement, dans une ambiance de dépôts de type marais maritime (C.W. de G.d.F.), laissent supposer une paléogéographie plus régulière en cours d'envasement.

E- Conclusion.

A la fin du Jurassique (phase d'émersion purbeckienne), le Bassin de Paris apparaît comme un diverticule d'un système de zones plus ou moins déprimées (Mégny, 1980), entouré de massifs émergés en voie d'aplanissement, recouverts, au moins localement, d'un manteau d'altération latéritique (Vatan, 1938).

Au Crétacé inférieur, sous les effets conjoints de la tectonique et du climat, la sédimentation va se trouver modifiée (Allen, 1975) :

- les événements tectoniques des phases cimmériennes tardives vont entraîner des rajeunissements des massifs périphériques émergés (Sladen, 1984) et en particulier du Massif Londres-Brabant;

- le climat tropical du Jurassique passe à un climat de type zonal (classification de Aubert et Duchaufourd, 1956). Il reste chaud mais à saisons contrastées avec une saison de forte humidité, brève, et une saison sèche et longue (Chamley, 1979).

La conjonction des effets tectoniques et climatiques va se traduire par :

- une sédimentation essentiellement détritique;
- une mobilisation et le transport vers le bassin de sédimentation de la couverture kaolinique, et du fer préalablement mis en réserve;
- le mélange d'espèces minérales issues de sols évolués (kaolinite) et d'altérations plus modérées sous un climat moins hydrolisant des roches cristallophyliennes mises à nu (illite, interstratifiés).

La kaolinite et le fer ont probablement une double origine :

d'une part, ils proviennent de la couverture latéritique; ce sont la kaolinite et le fer "jurassiques";

- d'autre part, ils résultent de l'altération des roches cristallophyliennes sous un climat zonal qui conduit aux "sols ferrugineux de climat chaud" (Milot, 1964); ce sont la kaolinite et le fer "crétaciques";

Pendant cette période, l'expansion saccadée du plancher océanique de l'Atlantique Nord (Ziegler, 1978) entraîne des transgressions marines rapides et de grande extension sur un pays sans relief (Mathieu, 1963), qui atteindraient épisodiquement le site de Germigny-sous-Coulombs dans sa partie Sud-orientale.

La reconnaissance des modalités de la sédimentation au Nord de Paris, secteur de Germigny-sous-Coulombs permet de prolonger et de préciser vers le Nord, les observations de Mathieu (1963) définies à Châteaurenard (fig. 76). Cet auteur note une évolution des faciès vers l'Ouest (Sully-sur-Loire et Bois commun), vers le Nord-Ouest (Breuillet) et vers l'Est (Sens); en effet, le Crétacé inférieur néritique de Châteaurenard, constitué de six zones à microfaune et signature électrique propre, passe vers l'Ouest et le Nord-Ouest à des faciès littoraux et vers l'Est à des faciès marins francs.

Deux périodes de transgressions franches sont repérées dans ce secteur à l'Hauterivien et au Barrémien inférieur. La polarité locale SE-NW des transgressions mises en évidence à Germigny-sous-Coulombs s'inscrit dans une polarité majeure S-N à partir du détroit de Bourgogne mais on peut supposer que des couloirs privilégiés guidaient les avancées de la mer :

- au Valanginien la zone 6 "des sables de Griselles" à cachet continental s'épaissit de Châteaurenard (quelques mètres) à Germigny-sous-Coulombs (40-50 m);
- à l'Hauterivien ou zones 5, 4, 3 "des grès de Puiset, des sables de Château-Landon, des sables de Châteaurenard" la transgression est marquée par un faciès à oolithes ferrugineuses qui atteint le Sud de Germigny-sous-Coulombs (CR16, CR2, CR3);
- au Barrémien inférieur ou zones 2, 1 "sables de Perthes et zone lumachellique", la transgression dépasse la précédente et atteint au moins le Nord du secteur de Germigny-sous-Coulombs (fig. 76).

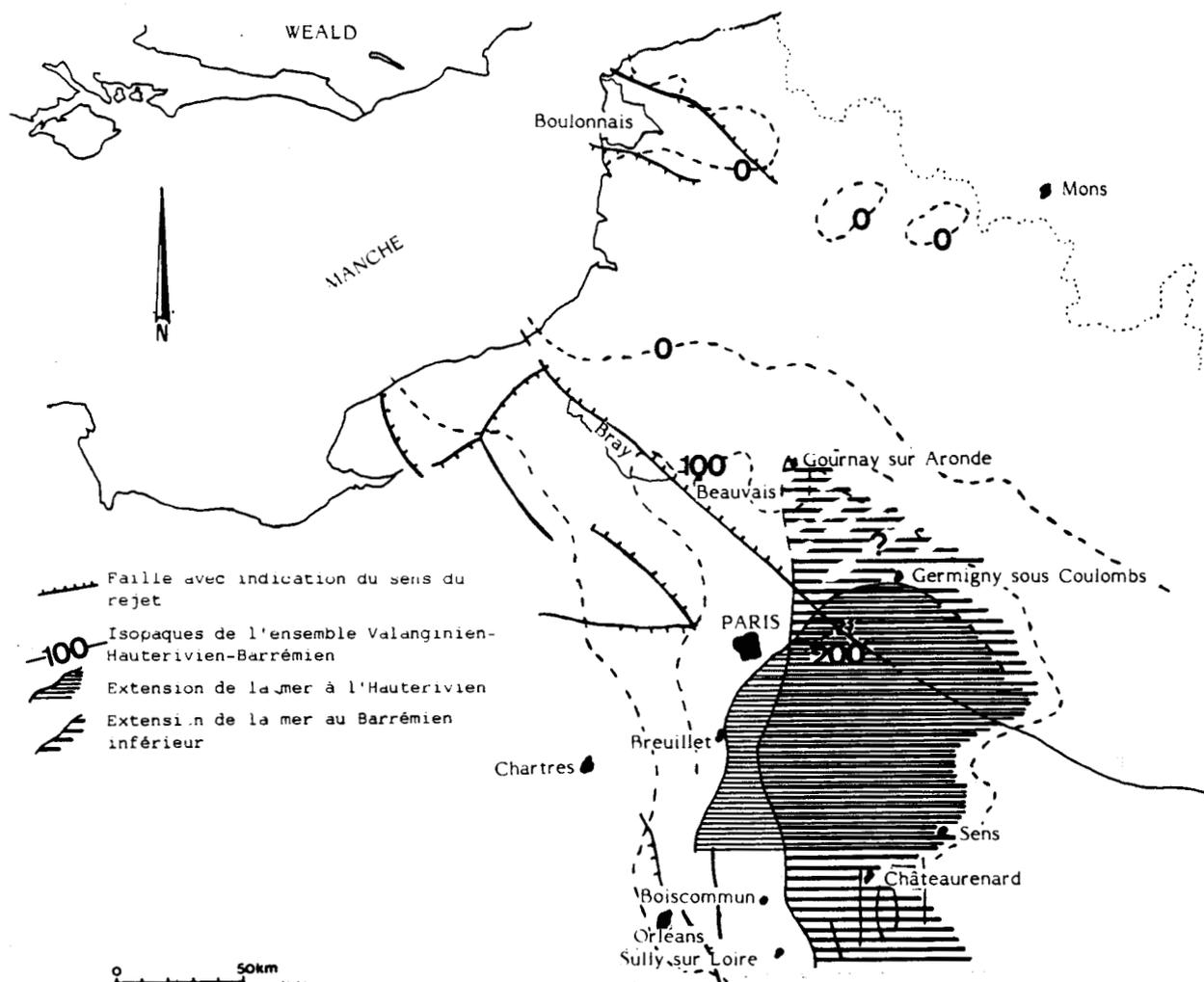


Fig. 76.- Limites de transgressions à l'Hauterivien et au Barrémien inférieur dans le Bassin de Paris.

Fig. 76.- Extents of the Hauterivian and Lower Barremian transgressions in the Bassin de Paris.

CHAPITRE V

ETUDE DU SECTEUR DE
LA CHAPELLE-EN-VEXIN /
SAINT-CLAIR-SUR-EPTE ET DE
VREGNY / NANTEUIL-LA-FOSSE

CHAPITRE V : ETUDE DU SECTEUR DE LA CHAPELLE-EN-VEXIN / SAINT-CLAIR-SUR-EPTE ET DE VREGNY / NANTEUIL-LA-FOSSE.

I- LE SECTEUR DE LA CHAPELLE-EN-VEXIN.

A- Présentation.

Le secteur de La Chapelle-en-Vexin (Chapitre II, II, A, 3 et B, 3; fig. 18 et 22) est situé au Sud-Ouest du Pays de Bray (fig. 15). Il s'agit d'une structure anticlinale orientée NW-SE d'âge Eocène (phase pyrénéenne) dont le flanc Ouest est recoupé par deux failles normales (Parijs, 1983). La première, au Nord, orientée N-S présente un pendage de 70°; la seconde, au Sud, orientée N120 semble relayer la précédente à proximité du forage Vn12. Ces deux failles, à regard Ouest, ont un rejet faible de l'ordre de quinze mètres. En se référant à l'augmentation de l'épaisseur des formations wealdiennes à l'Ouest de la faille N-S, le jeu principal de celle-ci est estimée au début du Crétacé, (Parijs, 1983).

B- Présentation des formations wealdiennes. Forage Vn12.

Le forage Vn12 est situé dans la région sommitale de la structure anticlinale (fig. 18). Sa localisation exacte (en coordonnées Lambert) est donnée dans le Volume 2, Partie 0, fig. 1.

Les 32 m de formations wealdiennes reposent en discordance sur le Portlandien (lacune du "Purbeckien"), (fig. 77). Les limites d'étages ont été déterminées par comparaison avec d'anciens puits pétroliers (Banthelu 1, 1955; Longuesse 1, 1956; Dourdan 1, 1956; CV1, 1961) sur lesquels des études micropaléontologiques ont été réalisées. Les limites adoptées par Gaz de France sont des limites lithostratigraphiques. Salik (1983) a distingué, du bas vers le haut, (fig. 77) :

- un ensemble inférieur (A), de 354,20 à 330,9 m, ou aquifère wealdien, à base argileuse (éch. 6 et 7), constitué de sables moyens à grossiers (éch. 4) (Vol. 2, Part. IV, fig. 32), mal classés ($S_0 = 1,61^\circ$ et de grès fins (R2 et R1) séparés par un banc argileux (C1) peu épais (1,90m);
- un ensemble supérieur (B) ou couverture wealdienne (C.W.) de 330,9 à 322 m, composé de deux niveaux argileux séparés par une passée d'argile sableuse de 1,80 m d'épaisseur.

L'unité R2 est attribuée au Valanginien, les unités C1, R1 et C.W. à l'Hauterivien.

LEGENDE DES FIGURES 77 à 79

	Argile
	Sable
	Présence de smectite
	Valeurs supérieures à 1 du rapport Illite / Kaolinite la largeur est proportionnelle à la valeur.
	
	Microspores (%)
	Pollens dissacates (%)
	Dinokystes (%)
O.	Ostracodes
F.	Foraminifères
De.	Dents
Di.	Dinokystes
G.	Gastéropodes
L.	Lamellibranches
Sp.	Spores
C.O.T.	Carbone organique
I.H.	Index d'Hydrogène
I.O.	Index d'Oxygène

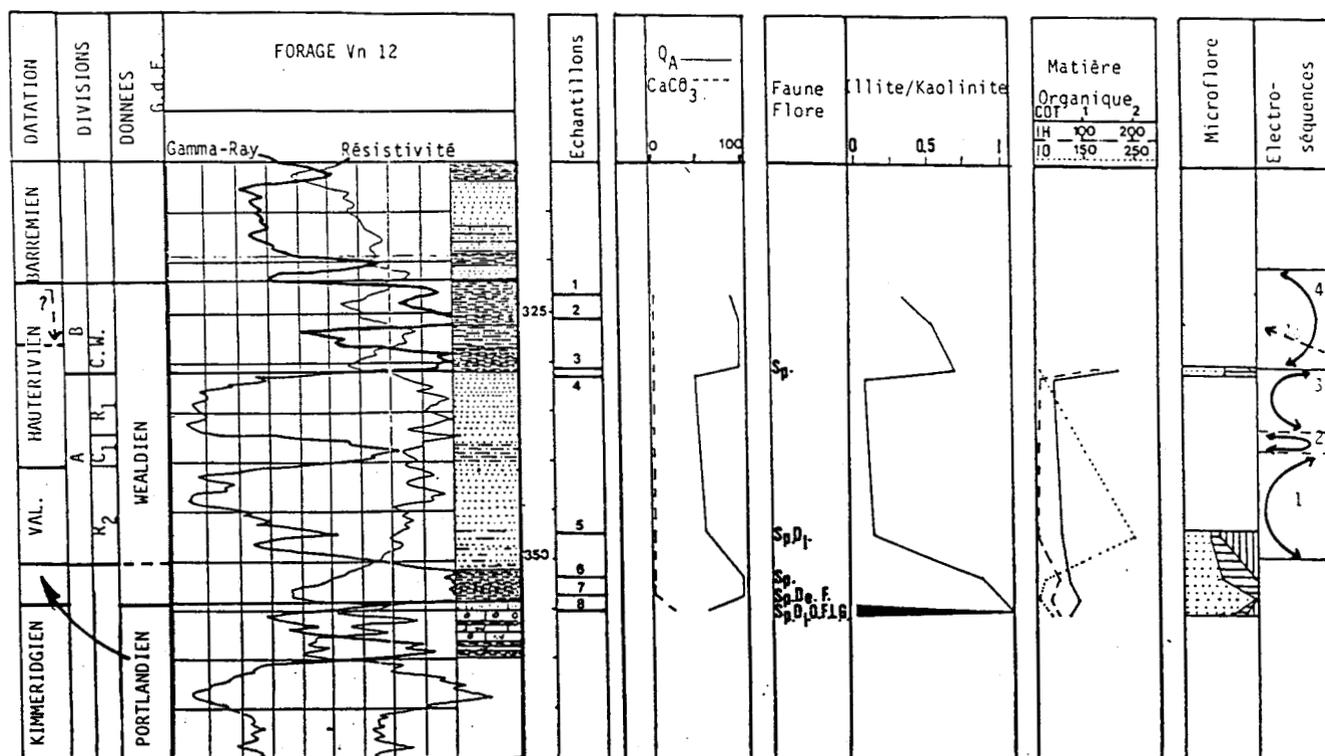


Fig. 77.- Log des résultats des analyses au puits Vn12 (Micropaléontologie, Minéralogie des argiles, Lithofaciès).

Fig. 77.- Log of the results (Micropaleontology, Clay minerals assemblies, Lithology). Well Vn12.

C-Résultats des analyses.

1- Analyses micropaléontologiques.

Les échantillons se sont révélés pauvres tant en microfaune qu'en microflore, (Vol. 2, Part. III, fig. 1). Les niveaux 5 à 8, les plus riches, permettent, néanmoins, de contrôler partiellement les limites lithostratigraphiques de Gaz de France, (fig. 77) :

- la formation carbonatée, à la base des faciès wealdien (éch. 8) ne serait pas d'âge Portlandien mais d'âge Kimméridgien inférieur d'après les microfaunes d'Ostracodes (*Macrodentina perforata* sp., *M. cf. vicheri*, *Paranotocythere (unicosta)* sp., *Schuleridea triebeli*), (Vol. 2, Part. III, fig. 2 et 4) (Colin, correspondance manuscrite) et de Foraminifères (*Everticyclamina virguliana*, *Lenticulina cf. munsteri*), (Vol. 2, Part. III, fig. 11), (Bizon, correspondance manuscrite);

- au-dessus, le banc argileux inférieur de l'unité R2 (éch. 7) est d'âge Kimméridgien inférieur à moyen avec la présence de *E. virguliana*, (Bizon, c.m.) ou Kimméridgien supérieur à Portlandien (Bernier, 1984);

- la limite Jurassique-Crétacé peut être fixée au toit du banc argileux puisque le contenu de l'échantillon 5 en Dinokystes (cf *Cleitosphaeridium hugonioti / ancoriferum*, *Oligosphaeridium cf. complex*), (Vol. 2, Part. III; fig. 8 et 10), lui confère un âge Berriasien à Hauterivien supérieur (Habib, 1983).

La térité des autres niveaux n'a pas permis de confirmer ou d'infirmer les limites Valanginien-Hauterivien et Hauterivien-Barrémien.

2- Analyse minéralogique des argiles.

Au Crétacé, les assemblages argileux sont dominés par l'illite et la kaolinite dans les niveaux argileux (1, 2, 3 et 6), (Vol. 2, Part. IV, fig. 30 et 31). Dans les niveaux sableux (4 et 5), parallèlement à la diminution de l'argilosité (Q_A), (fig. 31) la kaolinite augmente et sa cristallinité s'améliore.

Au Jurassique, (éch. 8) les assemblages argileux se diversifient avec la présence de chlorite (5 %) et de smectite (25 %).

Le talc (pyrophyllite ?) est omniprésent, moins de 5 %, éch. 8, à 15 %, éch. 6. Ces minéraux, talc et pyrophyllite, le plus souvent associés aux roches hydrothermales et métamorphiques sont rares dans l'hydrosphère. Des gisements authigènes ont été signalés dans le Dévonien inférieur du synclinal médian du Massif Armoricaïn (Dunoyer de Segonzac et Millot, 1962) et dans les Côtes du Nord (Nicolas et Sagon, 1966). Lafond (1961) cite un gisement de pyrophyllite détritique dans les alluvions de la Vilaine. Plusieurs mécanismes de formation sont évoqués :

- néoformation dans des sédiments sulfatés à un stade de diagenèse précoce, (Millot, 1964);
- altération hydrothermale (Nicolas et Sagon, 1966) ou altération météorique (Jayaraman, 1940; Delvigne, 1965) de diabases.

3- Analyse électroséquentielle.

L'interprétation des modalités de dépôts des formations wealdiennes se fera en incorporant, à l'analyse électroséquentielle, les résultats des analyses lithofaciologiques et micropaléontologiques (fig. 77). Je considérerai successivement l'ensemble A, (R2 + C1 + R1) et l'ensemble B, (C.W.).

a- L'ensemble A.

Il est caractérisé par deux électroséquences en cylindre négatif (n° 1 et 3) constituées de sables peu argileux, verdâtres, localement rouilles, à passées charbonneuses (l'analyse Rock-Eval indique une matière organique de type III, continentale, éch. 4 et 5), séparés par une électroséquence en cylindre positif (n° 2), argileuse.

Les courbes isopaques et l'analyse de la pendagemétrie indiquent, pour R1 et R2, des sens d'apports et d'épaississement NW-SE, (Salik, 1983).

b- L'ensemble B.

L'unité R1 passe brutalement à une électroséquence en cylindre positif (n° 4), composée d'argiles bariolées, rouilles à gris-cendré (éch. 1 et 2) et noires (éch. 3) dans laquelle s'intercale une passée sableuse, électroséquence négative n° 4a. La base de l'électroséquence n° 4, qui se suit sur toute la structure, est riche en lignite. L'analyse Rock-Eval confirme une matière organique abondante, de type III, continentale. L'ensemble B s'épaissit en dehors de l'axe de chenalisation (NW-SE), davantage vers l'Ouset que vers l'Est, (Salik, 1983).

D- Interprétation.

Dans cette région du Bassin de Paris, l'instabilité du milieu et une faible bathymétrie au Jurassique supérieur est indiquée par les variations rapides de faciès tant sur le plan horizontal que sur le plan vertical. des arrêts de sédimentation voire des émergences les accompagnent, (Debrand-Passard *et al*, 1980).

Au milieu lacustre sous-salé (avec *Macrodentina perforata*), (éch. 8), du Kimméridgien inférieur succède, (après émerision ?), au Portlandien (éch. 7) un milieu marin littoral vraisemblablement lagunaire comme en atteste la présence de restes de Sélaciens (dents) du genre *Hybodus* (Gayet, c.m.).

Après une seconde phase d'émerision (lacune du Purbeckien), les formations d'âge Valanginien se déposent dans un environnement continental, supratidal, entrecoupé de chenaux fluviatiles orientés NW-SE (ensemble A). La présence de talc (ou de pyrophyllite ?) ainsi que les cortèges de minéraux lourds (fig. 51 et 52) indiquent une origine armoricaine, province B de Pomerol (1964), du matériel sédimentaire. La direction des zones chenalisantes a probablement été guidée par le jeu des failles N-S. Le caractère littoral de la base des dépôts valanginiens est souligné par la composition des assemblages microfloristiques (éch. 5) avec la présence de Dinokystes abondants, (fig. 77).

A l'Hauterivien supérieur, l'ensemble B semble marquer dans le même environnement de type supratidal, une période d'envasement important avec l'installation d'un marais maritime entrecoupé de chenaux de marée (électroséquence n° 4a) traduisant le passage de ce secteur à une situation aval.

E- Conclusion.

Les formations wealdiennes du secteur de La Chapelle-en-Vexin se rapprochent de celles du secteur de Germigny-sous-Coulombs par :

- le faciès, argilo-sableux et ligniteux;
 - un contexte tectono-climatique comparable reflété par les cortèges de minéraux argileux avec la kaolinite dominante au Crétacé inférieur (et un rapport I / K (fig. 77) élevé au Jurassique supérieur, éch. 8);
- mais s'en distinguent par :
- une altitude plus élevée (-350 m) et une épaisseur réduite (28 m);
 - un Jurassique supérieur objet de variations fréquentes de milieu suivies d'émerisions dès le Kimméridgien;
 - l'absence d'incursions marines;
 - une polarité des dépôts, à partir du Massif Armoricain, NW-SE.

Ce secteur s'inscrit parfaitement dans la répartition des milieux, au Crétacé inférieur, mis en évidence à Germigny-sous-Coulombs, avec un milieu marin au Sud du Bassin de Paris et continental au Nord où les résultats acquis dans la région de La Chapelle-en-Vexin s'inscrivent correctement dans les connaissances sur les formations wealdiennes à l'affleurement du Pays de Bray. L'environnement de dépôt y est continental, post-Portlandien et pré-Aptien, à caractère fluvatile mais avec un intermède littoral, marin (estuarien), (Graves, 1847; Lapparent, 1879; Lemoine, 1907; Blondeau et al, 1974) que l'on ne retrouve pas au Vexin. La proximité de la faille N-S dont le jeu, à cette époque, est mis en évidence par les variations d'épaisseur, peut être une explication.

Les unités R2 et C1 (fig. 77) seraient l'équivalent du Néocomien inférieur avec ses sables blancs et ses argiles réfractaires; l'unité R1, du Néocomien moyen avec ses grès ferrugineux, et la couverture wealdienne (C.W.) du Néocomien supérieur (glaise panachée). Cette dernière serait à rattacher au Barrémien inférieur continental indifférencié (Mégny, 1980), avec ses argiles bariolées. Dans ce cas la limite Hauterivien-Barrémien se situe à la base de l'électroséquence n° 4a, (fig. 77).

Les assemblages des minéraux argileux sont comparables avec une dominance de la kaolinite et, secondairement, de l'illite. Les analogies sont encore plus étroites avec des analyses réalisées sur le faciès wealdien de la carrière de Grumesnil sur la bordure Nord-Est de l'anticlinal du Pays de Bray où, outre l'abondance de la kaolinite, du talc (ou pyrophyllite ?) a été mis en évidence en quantité non négligeable (5 à 15 %).

II LE SECTEUR DE VREGNY / NANTEUIL- LA - FOSSE

A- Présentation des formations étudiées

Le site Vregny / Nanteuil - La - Fosse est situé à 110 km au Nord-Est de Paris, 50 km au Nord-Est de Germigny-sous-Coulombs, (fig. 15) .Gaz de France y a réalisé deux forages; NF 2 au Nord de NF 1 (fig.19).

Les corrélations lithofaciologiques et diagraphiques avec le puits pétrolier Vrégnny 1 ont permis de reconnaître un Crétacé inférieur (s.l.) débutant par des sables verts (unités U1,U2,U3; forage NF 2),(fig. 78 et 79) attribués à l'Albien, à 630 m(NF 1) et 650 m (NF 2) de profondeur (Vol. 2, Part. I ,fig. 21c),surmonté par des argiles,faciés Gault,de l'Albien. Les sables verts reposent sur un Crétacé inférieur indifférencié (unité U4).La partie inférieure de celui-ci (à 678 m. au puits NF 1, 682,50 m. au puits NF 2) est rattachée au faciés wealdien qui surmonte, par l'intermédiaire d'une surface d'érosion,le Jurassique supérieure à faciés purbeckien.

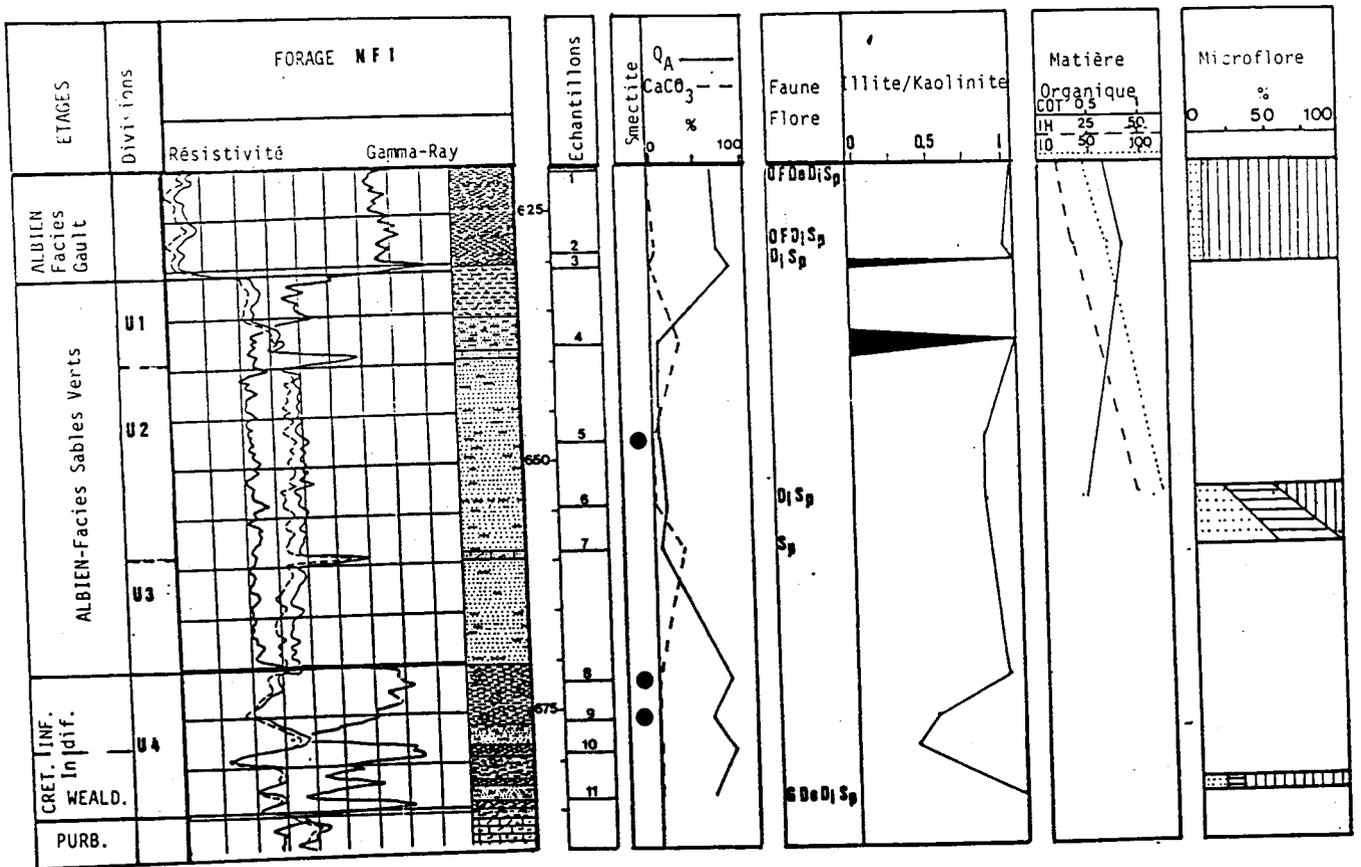


Fig. 78.- Log des résultats des analyses au puits NF1 (Micropaléontologie, Minéralogie des argiles, Lithofaciés).

Fig. 78.- Log of the results (Micropaleontology, Clay minerals assemblies, Lithology). Well NF1.

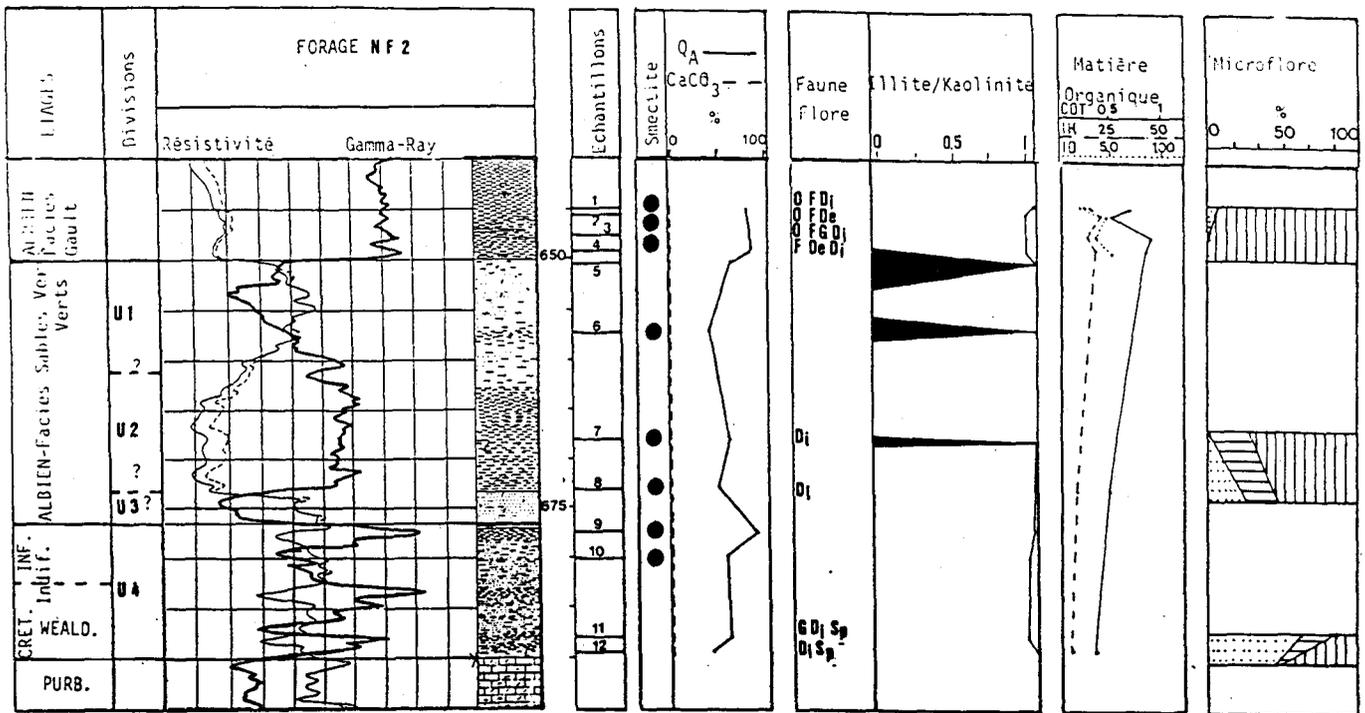


Fig. 79.- Log des résultats des analyses au puits NF2 (Micropaléontologie, Minéralogie des argiles, Lithofaciès).

Fig. 79.- Log of the results (Micropaleontology, Clay minerals assemblies, Lithology). Well NF2.

B - Résultats des analyses (fig. 78 et 79)

1 - L' albien - faciés Gault

L' Albien - faciés - Gault est constitué d' argile gris - noir, bioclastique (Ammonites, Lamellibranches, Gasteropodes, Belemnites : éch. 1 à 3 , puits NF 1), (Lamellibranches : éch. 1 à 4 , puits NF 2) devenant gris - verdâtre à sa base (éch. 4; puits NF 1).

L' analyse minéralogique des argiles (fraction < 2 $\mu\text{m}.$) montre (Vol. 2, Part. V, fig. 30, 33 et 34) des assemblages composés d' illite, de kaolinite et d'interstratifiés irréguliers (10-14) et (14-14), (puits NF 1), auxquels se joint la smectite au puits NF 2.

Les analyses micropaléontologiques ont mis en évidence une microfaune abondante et variée avec (fig. 78 et 79) des Ostracodes, des Foraminifères, des Gastéropodes et des restes de Vertébrés (dents de Poissons). Les Ostracodes (Vol. 2, Part. IV, fig. 2 et 4) et les Foraminifères (Vol. 2, Part. IV, fig. 11) permettent de dater ces niveaux de l'Albien moyen à supérieur (Colin et Bizon, c.m.).

2 - L' Albien - faciés Sables Verts

Le passage à l'Albien - faciés Sables Verts est marqué par une zone perturbée avec des bioturbations et des galets gréseux (puits NF 2).

Au puits NF 1 (fig. 78), ce faciès est essentiellement sablo-gréseux, verdâtre (éch. 4) à gris (éch. 5), parfois carbonaté (éch. 4 et 7) ou argileux (éch. 6). L'analyse granulométrique indique un sable à grains moyens, moyennement bien classé (So = 1,35), (Vol. 2, Part. V, fig. 35).

Au puits NF 2 (fig. 79), l'intercalation d'une passée argileuse a permis de distinguer trois unités:

- l'unité supérieure (U1), sablo-gréseuse, vert-émeraude (éch. 5 et 6). L'analyse granulométrique (éch. 5 et 6; Vol. 2, Part. V, fig. 36 et 37) met en évidence, dans les deux échantillons, deux modes, la prédominance des sables moyens (67 et 62 %) sur les fins (18 et 14 %) et les grossiers (12 et 16 %). Le classement est moyennement bon (So = 1,35, éch. 5) à moyen (So = 1,42, éch. 6);
- l'unité médiane (U2) (éch. 7 et 8), argilo-silteuse et silto-argileuse, grise à gris-verdâtre; des galets roulés de quartz et des lithoclastes argileux soulignent la base;
- l'unité inférieure (U3), sableuse, non récupérée en carottage.

L'analyse minéralogique des argiles (fraction < 2 μm) (Vol. 2, Part. V, Fig. 30, 33 et 34) fait apparaître, au toit de ce faciès (éch. 4, puits NF1; éch. 5, puits NF2), une passée dominée par l'illite puis des assemblages plus diversifiés (éch. 5 à 7, puits NF1; éch. 6 à 8, puits NF2) avec de l'illit, de la kaolinite et des interstratifiés irréguliers (10-14) et (14-14) comparables à ceux de l'Albien - faciès Gault. Ici aussi, puits NF2 (éch. 6 à 8), on note l'omniprésence de la smectite qui n'apparaît qu'à un seul niveau (éch. 5) au puits NF1 (fig. 78 et 79).

Le contenu micropaléontologique comprend des Dinokystes (Vol. 2, Part. IV, fig. 8 et 9) (éch. 6-7, puits NF1; éch. 7-8, puits NF2) et des microspores (Vol. 2, Part. IV, fig. 5 et 7) ne permettant de donner qu'un âge Aptien au moins (éch. 6-7, puits NF1) et Albien inférieur (éch. 8, puits NF2).

3- Le Crétacé inférieur indifférencié.

Le Crétacé inférieur indifférencié (unité 4, fig. 78 et 79) comprend :

- un ensemble inférieur à faciès wealdien constitué d'une alternance de bancs métriques d'argile kaki à marbrures brun-jaune, parfois rouilles (éch. 10, puits NF1), ou grise à gris-foncé, silto-sableuse à intercalations d'argile rouille foncé (éch. 11, puits NF2);
- un ensemble supérieur (Barrémo-Aptien ?), sableux à la base, surmonté d'un niveau d'argile bariolée gris-blanc injectée d'argile rouge (éch. 9, puits NF1), ou gris-clair à blanchâtre, silteuse (éch. 9 et 10, puits NF2).

L'analyse minéralogique des argiles (fraction < 2 μm) appuie cette distinction en deux ensembles avec un ensemble inférieur (wealdien) à illite, kaolinite, interstratifiés irréguliers (10-14) et (14-14), dépourvu de smectite et un ensemble supérieur présentant de la smectite et dont les interstratifiés 10-14 ont une tendance à la régularité (éch. 8 et 9, puits NF1; éch. 9 et 10, puits NF2) (Vol. 2, Part. V, fig. 33 et 34).

Les analyses micropaléontologiques (fig. 78 et 79) ont livré une microfaune et une microflore (Gastéropodes, dents de Poissons, Dinokystes, microspores) dans les niveaux tout à fait à la base du wealdien (éch. 11, puits NF1; éch. 11 et 12, puits NF2), qui ne permettent pas de datations.

C- Conclusion.

L'épaisseur du Crétacé inférieur (s.l.) diminue du Sud (NF1) au Nord (NF2) (Fig. 80). Cette réduction d'épaisseur (15,4 m) affecte aussi bien le Crétacé inférieur indifférencié et le faciès wealdien que l'Albien - faciès Sables Verts.

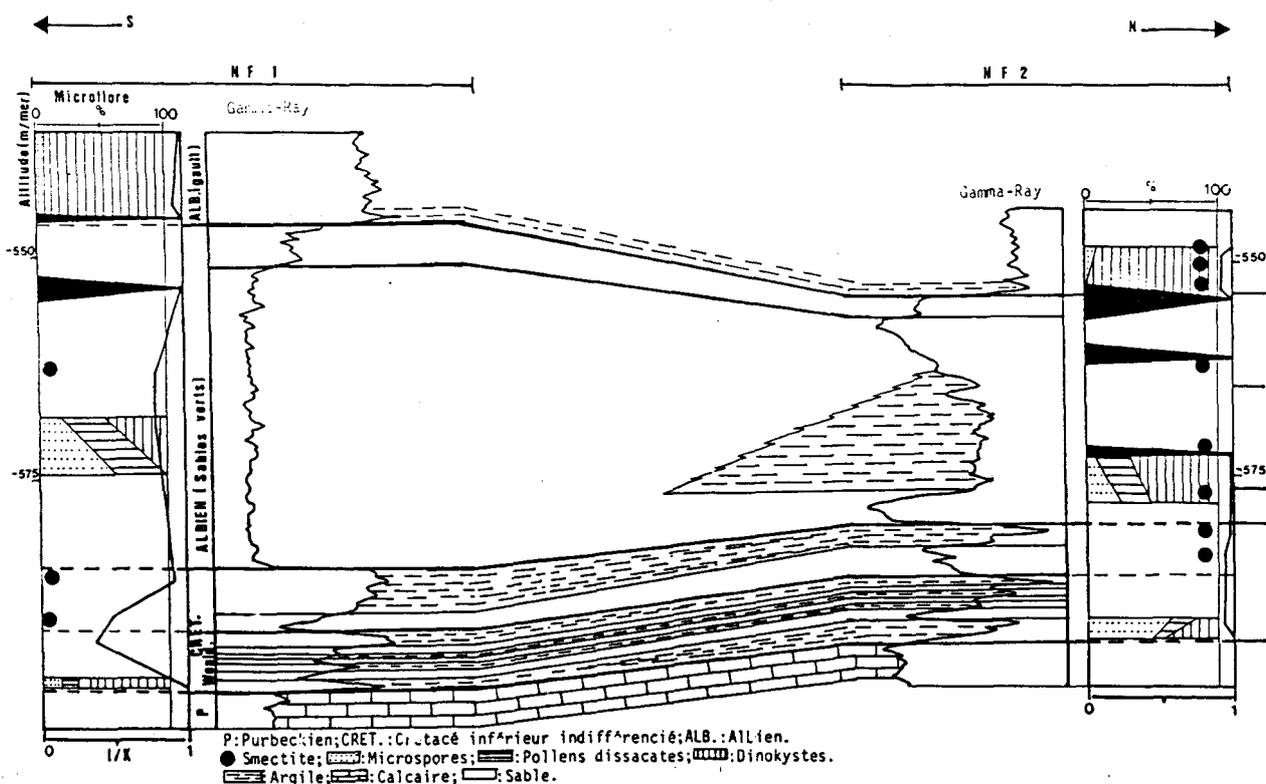


Fig. 80.- Corrélations entre les puits NF1 et NF2.

Fig. 80.- Correlations between the wells NF1 and NF2.

Les différentes parties constitutives du Crétacé inférieur (s.l.) se corrélaient parfaitement entre les deux puits tant par leur signature diagraphe que par les assemblages argileux (rapport I / K, smectite) et que par leur contenu microfloristique. A l'Albien - faciès Sables Verts on passe, du Sud (NF1) vers le Nord (NF2), à un équivalent argilo-silteux que je rapprocherai de la "Gaize de Draize" et qui correspond à une variation latérale vers le Nord-Est (Ardenne-Meuse) de ce faciès. Dans le Crétacé inférieur indifférencié, l'ensemble inférieur, wealdien, montre une base et un sommet (fixé au toit des argiles "bariolées" (éch. 10, puits NF1) plus argileux vers le Nord. Néanmoins, toutes les alternances d'argile et de sable se retrouvent en ces deux puits peu éloignés l'un de l'autre. L'ensemble supérieur (Barrémo-Aptien ?) se corréle, également, aisément mais son argilosité est plus élevée au Sud.

Les argiles de l'Albien - faciès Gault se sont déposées dans un milieu marin peu profond (20 - 100 m) (Magniez *et al*, 1980) tant au puits NF1 qu'au puits NF2 ainsi qu'en attestent la microfaune et la microflore dominée par les Dinokystes (fig. 78 et 79) (fig. 80). Les sables de l'Albien - faciès Sables Verts correspondent à un milieu marin typique (plages sous-marines) (Magniez *et al*, 1980), au puits NF1 évoluant vers le Nord (puits NF2) à des dépôts plus marginaux caractérisés par un enrichissement des sables en argile (faciès "Gaize de Draize") (Magniez *et al*, 1980).

Le caractère marin est souligné par la présence des Dinokystes mais la proximité d'un rivage est indiquée par des proportions accrues de microspores et de pollens dissacates. On se trouve donc, à l'Albien, en présence d'une aire continentale située au Nord du puits NF2 et d'une aire marine au Sud (puits NF1). La proportion

élevée de Dinokystes et la présence de smectite dans le faciès "Gaize de Draize" sont imputables à l'argilosité élevée de ce niveau (Batten, 1973, 1974; Thiry, 1981).

Au Crétacé inférieur, la polarité mer-continent se retrouve, mais, ici, le milieu est essentiellement continental, à l'exception de la base où l'abondance relative des Dinokystes indique un milieu littoral au Sud (puits NF2) et proximo-littoral au Nord (puits NF1).

CHAPITRE VI

ETUDE DU SECTEUR
DE GOURNAY-SUR-ARONDE

CHAPITRE VI : ETUDE DU SECTEUR DE GOURNAY-SUR-ARONDE.

I- PRESENTATION

A- Le "faciès wealdien" de Gournay-sur-Aronde.

1- Les limites.

Les limites d'étage et de formation sur le site de Gournay-sur-Aronde situé à 80 km au NNE de Paris (fig. 15) (Rapport IFP n° 27754, 1980 et Rapport G.d.F. n° LM/CC, G50169, 1981) correspondent à des repères de diagraphies (radioactivité naturelle, porosité, résistivité) affinés par l'observation des carottes et des déblais de forage. Elles sont prises de telle sorte que chaque étage et chaque limite de formation correspondent aux caractéristiques moyennes de la chrono- ou de la lithostratigraphie classique, c'est-à-dire :

- le faciès continental, à incursions marines à partir du centre du Bassin de Paris, constitué par des argiles et des sables bariolés pour le Barrémien ;
- le faciès argilo-normand à sédimentation argilo-sableuse avec des sables plus ou moins grossiers à stratifications entrecroisées, traces de chenaux divaguants avec lentilles ou galets d'argile et débris de végétaux pour le Wealdien ;
- sous forme condensée, des sables et des grès calcaireux pour le Purbeckien.

Deux types de limites sont considérés. Le premier type de limites permet d'assurer des corrélations indiscutables malgré l'absence d'étude paléontologique :

- Barrémien - Couverture wealdienne ;
- Couverture wealdienne - Réservoir wealdien.

Le second type comprend des "limites de travail" qui tendent à suivre la lithostratigraphie mais ne sous-entendent pas une chronostratigraphie :

- Réservoir ou Sables supérieurs - Réservoir ou Sables inférieurs ;
- Sables inférieurs - "complexe de base" ;
- Wealdien-Portlandien.

Le forage SR112 (fig. 81) est pris comme référence en raison des caractéristiques de la diagraphie de radioactivité naturelle qui présente des contrastes très grands et typiques d'une unité lithologique à l'autre.

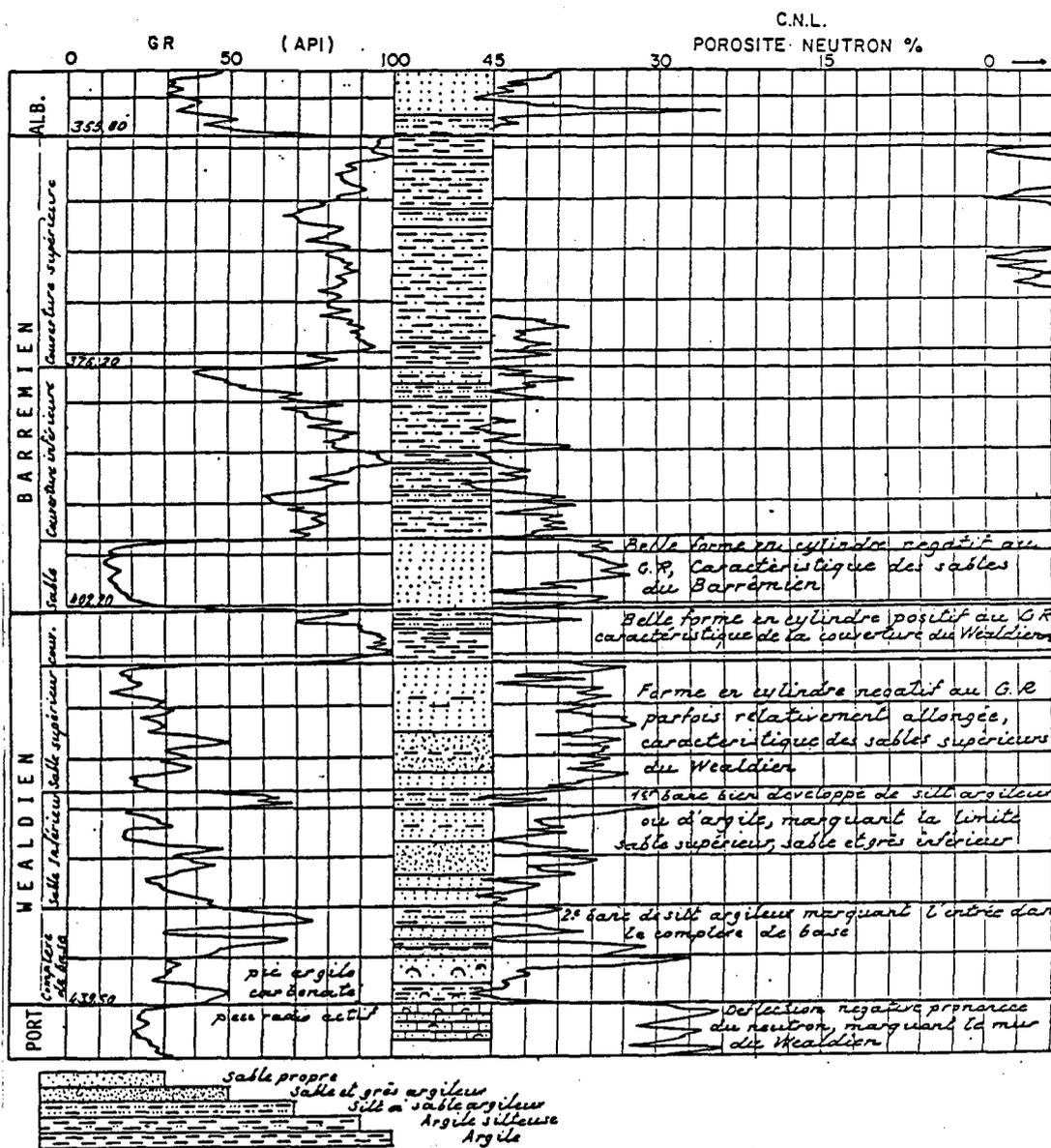


Fig. 81.- Site de Gournay-sur-Aronde. Puits de référence SR112. Lithofaciés, limites et datations selon G.d.F.

Fig. 81.- Site of Gournay-sur-Aronde. Well SR112. Lithofacies, limit and ages according to G.d.F.

La limite supérieure du faciès wealdien situé à une profondeur moyenne de 400 m est placée au toit du banc d'argile (Couverture Wealdienne ou C.W.) sous-jacent des argiles et des sables bariolés du Barrémien. Sous la Couverture wealdienne, on passe aux sables supérieurs puis aux sables inférieurs. La limite entre ces deux unités est fixée arbitrairement au premier électrobanc argileux ou argilo-silteux qui suit le niveau réservoir inférieur.

Le passage au "complexe de base" est également fixé arbitrairement à l'électrobanc argileux ou argilo-silteux qui sépare la zone précédente d'une zone à alternances d'argiles, de grès et de silts.

Le mur des formations wealdiennes est fixé, par convention, à la base du pic de radioactivité naturelle le plus élevé qui surmonte une série carbonatée continue et au niveau de la plus forte déflexion négative de l'outil de porosité au-dessus de la série carbonatée.

2- Caractéristiques lithofaciologiques des unités constitutives du "faciès wealdien" et leur évolution horizontale.

La puissance des formations wealdiennes, telles qu'elles sont définies, oscille entre 32 et 45 m, avec une moyenne de 38,50 m sur l'ensemble du site. L'épaisseur (fig. 82) augmente du NNE vers le SSW et diminue à partir du coeur de la structure anticlinale vers le NW et vers le SE.

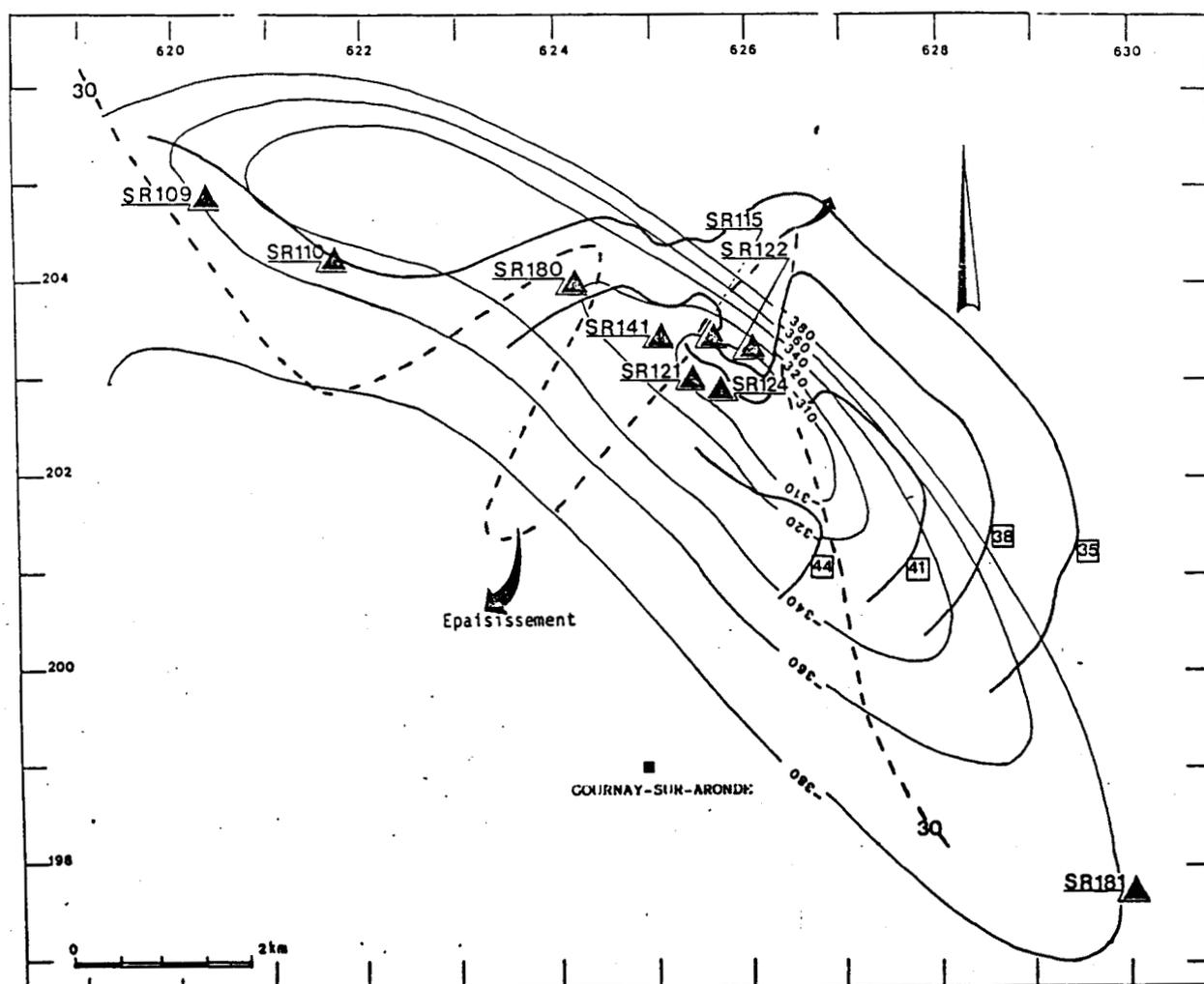


Fig. 82.- Site de Gournay-sur-Arondes. Isopaques du "faciès wealdien" ; (G.d.F.).

Fig. 82.- Site of Gournay-sur-Arondes. Isopachytes of the "Wealden facies" ; (G:d.F.).

a- La couverture wealdienne (C.W.).

Son épaisseur varie entre 3 et 7 m avec une moyenne de 5 m. Elle augmente vers le SW (fig. 83) mais on observe des amincissements en forme de doigts dans la région sommitale ainsi que vers le NW et le SE. Au sommet de l'anticlinal, les digitations des isopaques, non observées latéralement, sont probablement liées à la densité plus importante de forages dans cette zone. La couverture est constituée d'argile silteuse, ligniteuse et pyriteuse ; aux deux-tiers supérieurs de sa puissance se développe un niveau sableux d'épaisseur variable, d'ordre métrique, plus épais au top de la structure anticlinale et au NE du forage SR110.

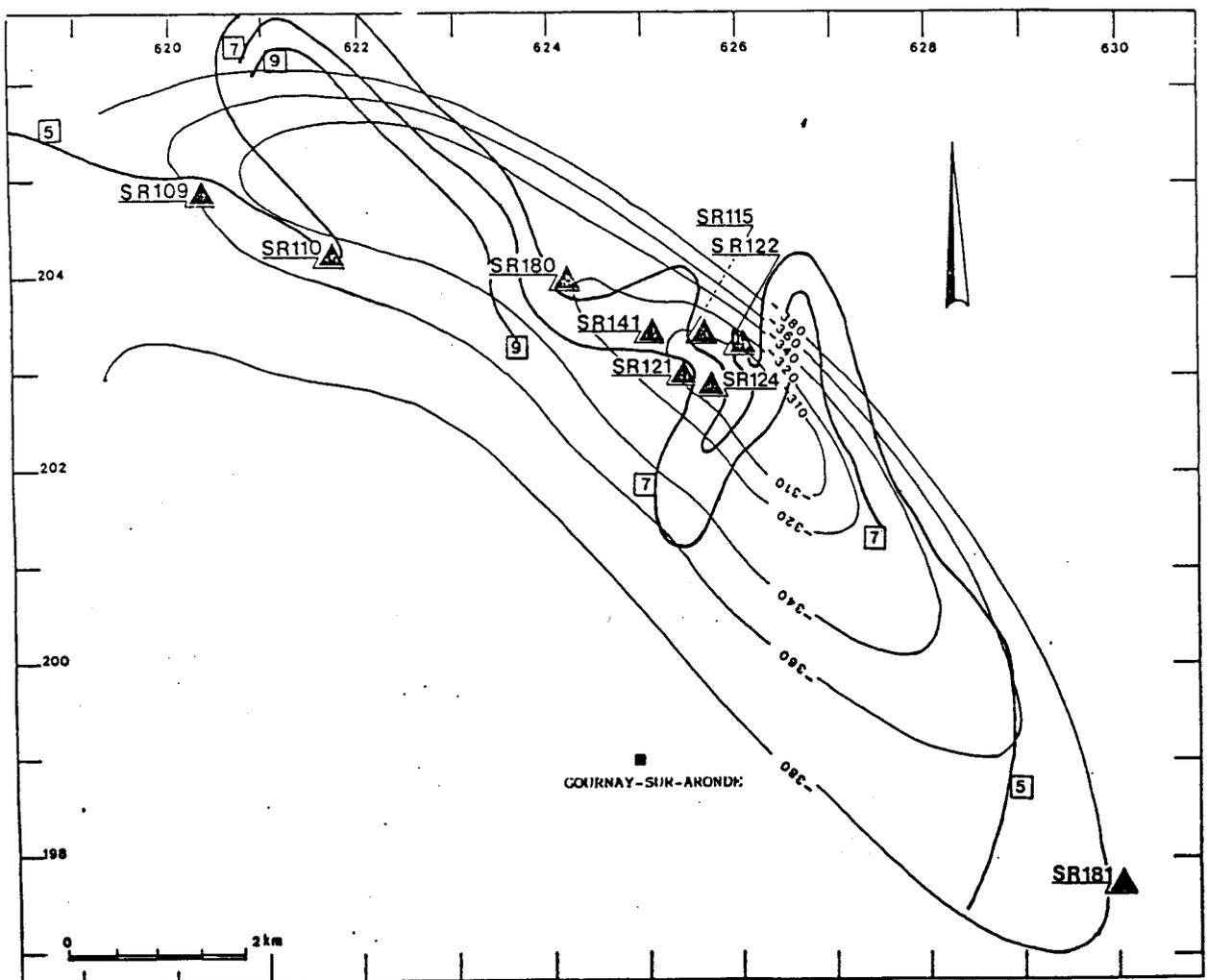


Fig. 83.- Site de Gournay-sur-Aronde. Isopaques de la "Couverture wealdienne" (C.W.) ; (G.d.F.).

Fig. 83.- Site of Gournay-sur-Aronde. Isopachytes of the "Wealden cap-rock" ; (G.d.F.).

b- Le réservoir wealdien

Le réservoir wealdien est subdivisé en deux unités

L'unité supérieure ou "Sables supérieurs" de 2 à 14,7 m d'épaisseur présente une très grande variabilité. Elle est composée de sables très peu argileux (Q_A moyen = 8 %), ligniteux, pyriteux et localement glauconieux. Le tracé des courbes d'iso-argilosité montre des drains orientés NE-SW (fig. 84), abondants et importants au coeur de la structure anticlinale, absents au SE, moins importants au NW. Un lissage dans ces deux directions est possible en raison de la densité plus faible de puits.

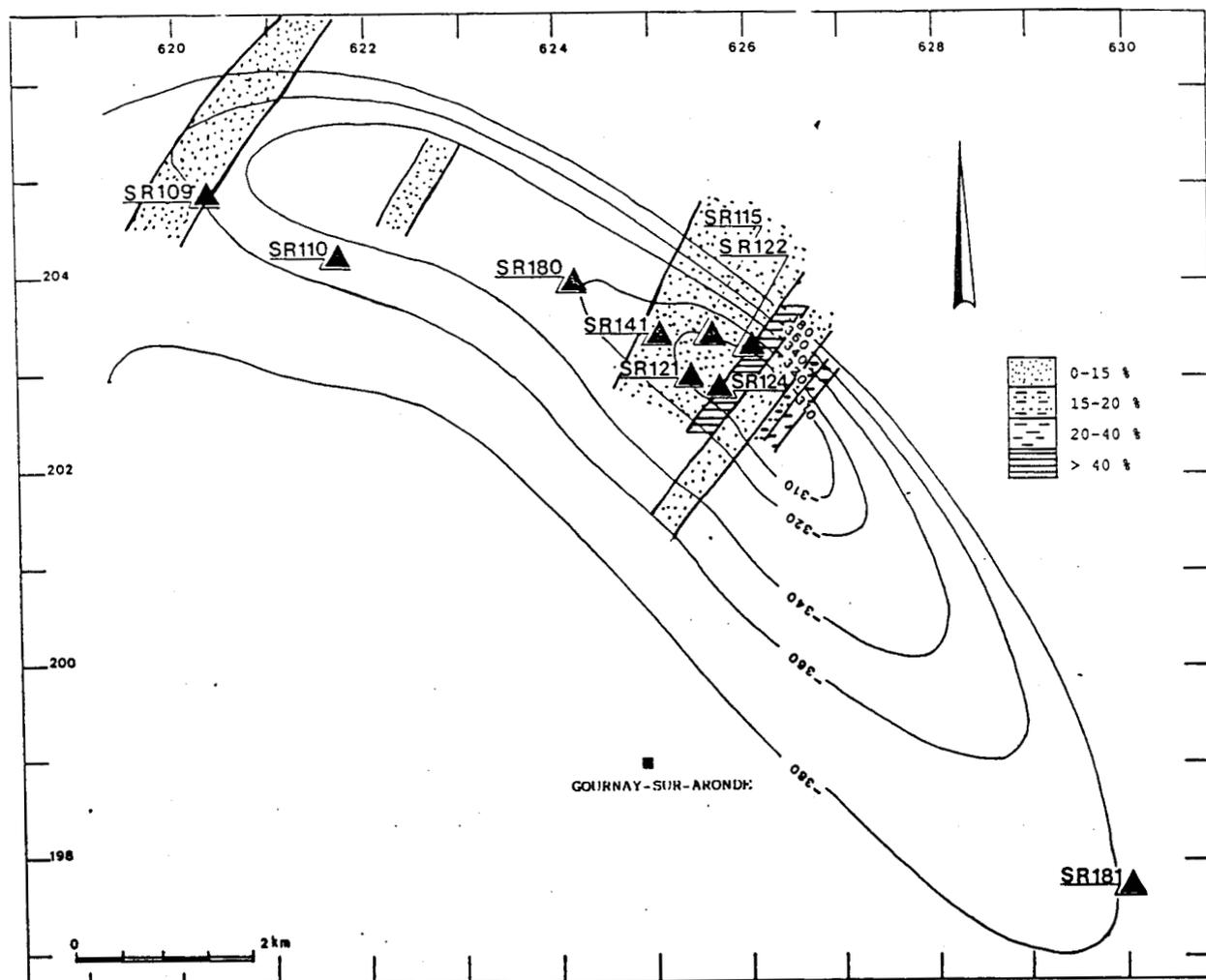


Fig. 84.- Site de Gournay-sur-Aronde. Courbes d'iso argilosité (%) des sables supérieurs ; (G.d.F.).

Fig. 84.- Site of Gournay-sur-Aronde. Curves of equal shaliness (%) of the upper sands ; (G.d.F.).

L'unité inférieure ou "Sables inférieurs" est épaisse de 5 à 15 m. Les sables, plus argileux, plus grossiers, sont disposés en alternances métriques avec des bancs argilo-silteux et quelques niveaux gréseux. Le report des courbes d'iso-argilosité (fig. 85) montre un dispositif des drains (NE-SW) comparable et superposable à celui des sables supérieurs.

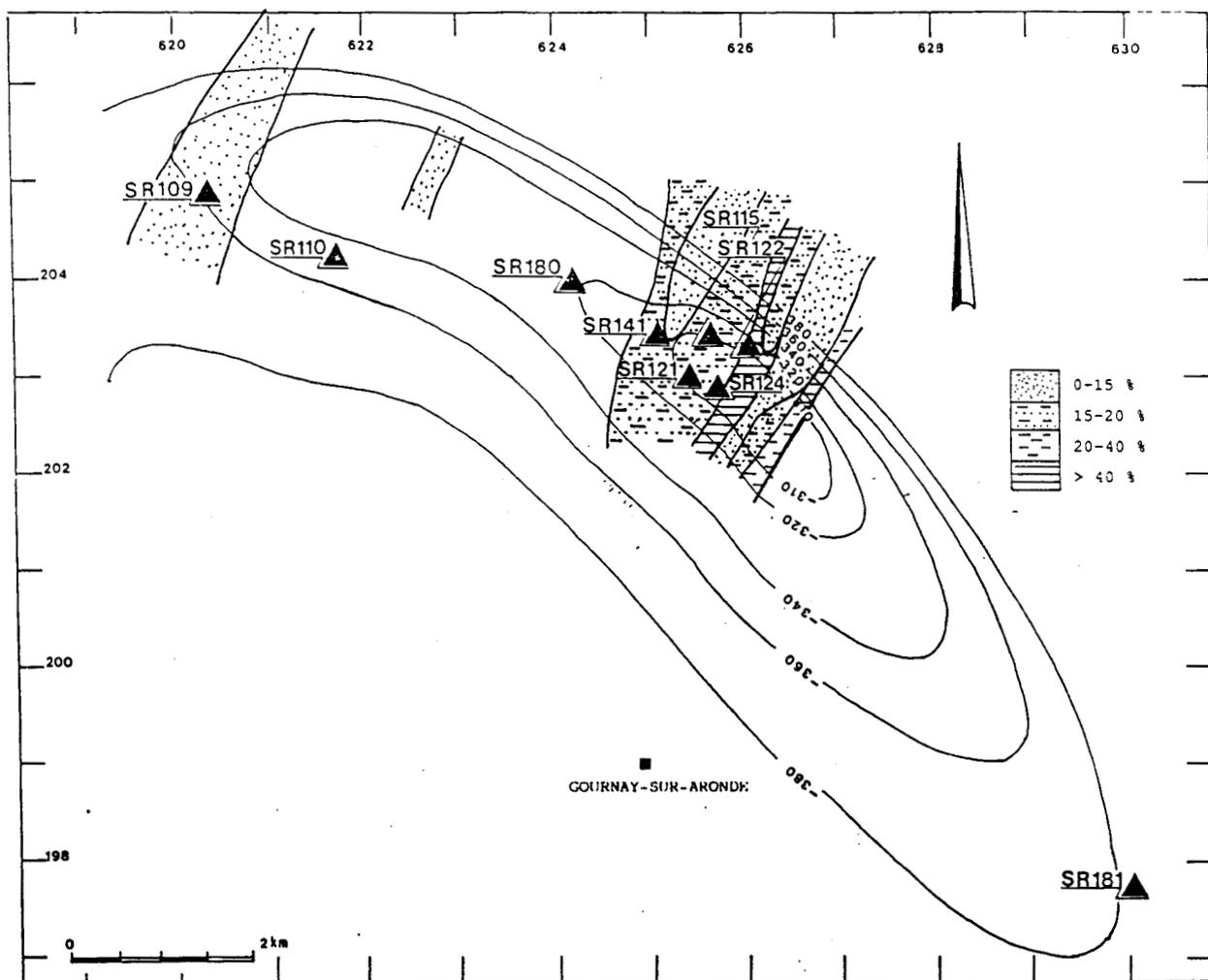


Fig. 85.- Site de Gournay-sur-Aronde. Courbes d'iso argiolsité (%) des sables inférieurs ; (G.d.F.).

Fig. 85.- Site of Gournay-sur-Aronde. Curves of equal shaliness (%) of the lower sands ; (G.d.F.).

Entre ces deux niveaux sableux, s'intercale une passée argileuse irrégulièrement développée et parfois absente. L'isolement entre ces deux unités est le plus probable dans la zone centrale et immédiatement de part et d'autre, vers l'Est et l'Ouest de celle-ci.

c- "Le complexe de base".

L'épaisseur de ce niveau (moyenne de 15 m) varie de 9,5 à 19 m. Les variations sont, en grande partie, imputables aux choix des limites inférieures dans la mesure où le faciès purbeckien n'y a pas encore été reconnu formellement et qui peut être en tout ou partie représenté par ce niveau appelé "complexe de base", gréseux et glauconieux à son sommet et passant, vers le bas, à des alternances décimétriques :

- d'argiles silto-sableuse, grises et vertes ;
- de grès fins à très fins, argileux, glauconieux ;
- de grès carbonatés, bioclastiques ;

- de calcaires localement dolomitiques.

Le passage au Portlandien s'effectue par l'intermédiaire de différents faciès :

- des grès calcaréo-dolomitiques ;
- des grès calcaires coquillers ;
- de la dolomie gréseuse.

B- Interprétation sédimentologique.

A l'époque des formations sableuses (sables supérieurs et inférieurs), la complexité du milieu de dépôt est reflétée par les diagraphies de pendagemétrie et les diagrammes de fréquence d'azimut qui montrent une grande dispersion des pendages et ne mettent en évidence aucune direction privilégiée. Dans la zone centrale et au Nord-Ouest (fig. 84 et 85), les sédiments sableux répartis en bandes parallèles NNE-SSW évoquent des bancs sableux d'estuaire.

Dans la formation argileuse sommitale du faciès wealdien, ou couverture wealdienne, les réponses de la diagraphie de pendagemétrie sont de meilleure qualité et indépendantes de celles du réservoir. Le report des pendages sur une rosace de fréquence d'azimut fait apparaître quatre modes : NE, SW, NW et SE. Avec la paléogéographie classique de cette époque qui indique des dépôts continentaux en provenance d'un continent au Nord et un domaine marin au SSE, on peut envisager (fig. 86) un modèle sédimentologique de type "ensemble de barres côtières" par le domaine côtier des dépôts, par une rosace à quatre modes et par des sédiments argileux (Allen J.R.L., 1968).

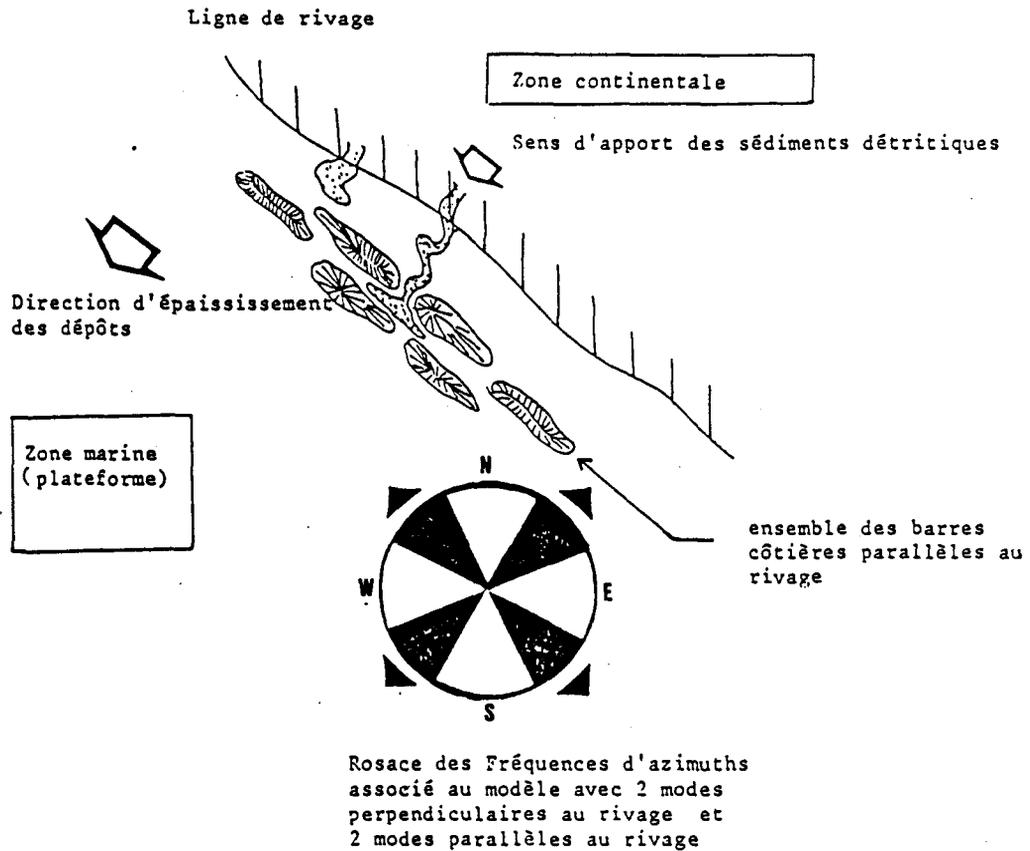


Fig. 86.- Modèle d'un ensemble de barres côtières applicable à la "Couverture wealdienne" (Allen J.R.L., 1968).

Fig. 86.- Model of tidal bore applicable to the "Wealden cap-rock". (Allen J.R.L., 1968).

A l'épaississement vers le Sud-Ouest de la couverture wealdienne, se superpose un phénomène aléatoire lié à la présence de barres côtières NW-SE piégeant les sédiments sableux venant du Nord. Au sommet de la structure anticlinale où la densité de forages est suffisante pour appréhender les corps sédimentaires (fig. 87), deux barres A et B d'une épaisseur maximum de trois mètres sont séparées par un chenal central envahi préférentiellement par des épandages ponctuels en provenance du N-NE.

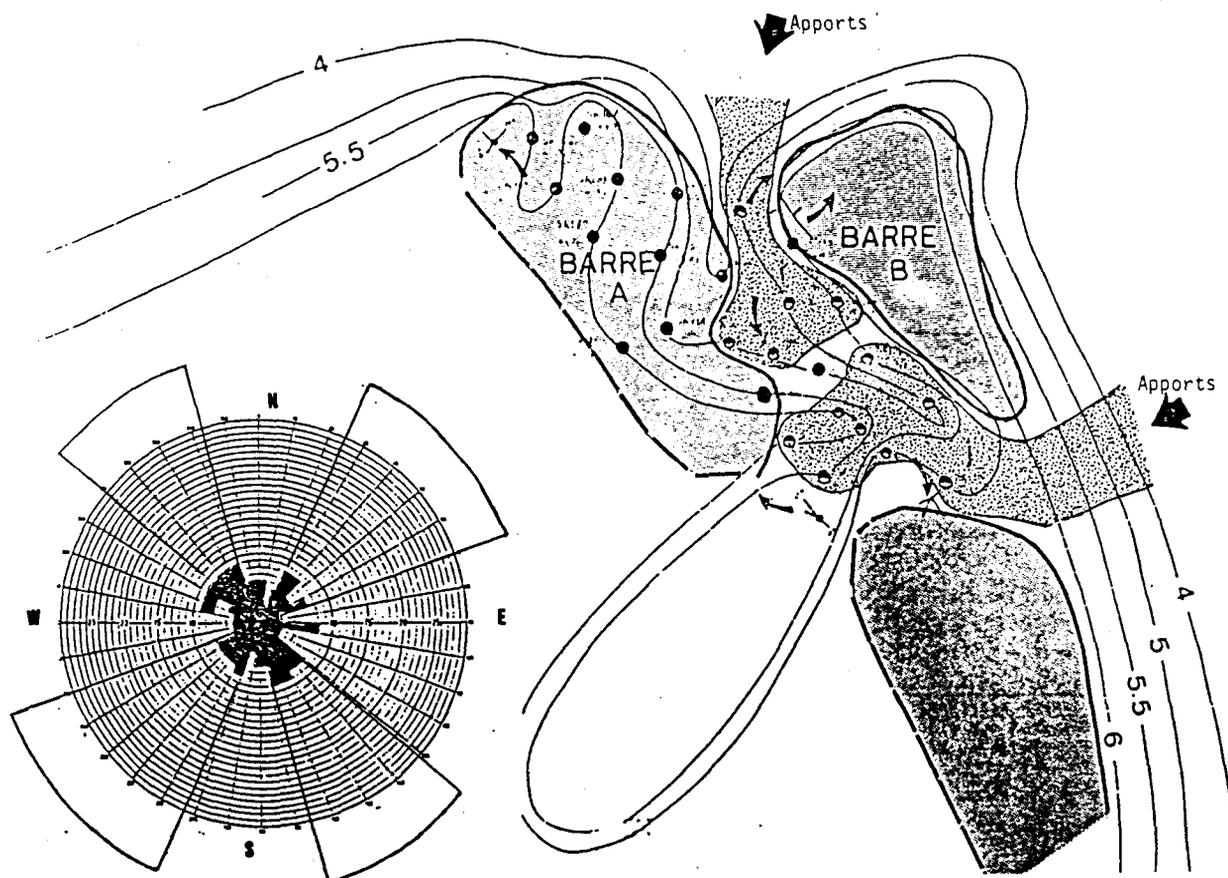


Fig. 87.- Interpretation sédimentologique de la carte isopaque de la "Couverture wealdienne" ; (G.d.F.).

Fig. 87.- Sedimentological interpretation of the isopachyte map of the "Wealden cap-rock" ; (G.d.F.).

II- ETUDE DU SECTEUR DE GOURNAY-SUR-ARONDE.

A- Matériel d'étude - Méthodologie mise en oeuvre.

Neuf forages ont été retenus ; le choix a été limité en raison du peu de puits carottés au niveau du faciès wealdien qui n'était pas l'objectif principal. Leur répartition n'est pas très régulière (fig. 17) puisque six forages sont situés dans la zone "de top" de la structure anticlinale (SR115, SR121, SR122, SR124, SR141, SR180) et, seuls trois puits, SR181 à l'extrémité SE et SR109 et SR110 à l'extrémité NW permettent d'étudier le reste du secteur. Ils sont disposés parallèlement à l'axe SE-NW de la structure anticlinale.

Les lithofaciès wealdiens, résumés précédemment, et échantillonnés sont présentés dans le volume 2, partie I, fig. 2 (lithologie abrégée, argilosité, porosité, profondeur) ; volume 2, partie I, fig. 9 à 17 (logs lithologiques et positionnement des échantillons) ; volume 2, partie III (description détaillée des échantillons) ; volume 2, partie I, fig. 21b (profondeur, altitude et épaisseur des unités constitutives du "faciès wealdien").

La méthodologie mise en oeuvre a consisté en :

- l'analyse minéralogique de la fraction argileuse (Vol. 2, Part. V, fig. 30 et fig. 38 à 46) ;

- l'analyse micropaléontologique (Vol. 2, Part. IV, fig. 1) qui a livré une faune d'Ostracodes (Vol. 2, Part. IV, fig. 2 à 4), des Foraminifères (Vol. 2, Part. IV, fig. 11) et une microflore composée de spores et pollens (Vol. 2, Part. IV, fig. 5 à 7 et 19) et de Dinokystes (Vol. 2, Part. IV, fig. 8 et 9) ;
- l'étude des minéraux lourds (fig. 51 et 52 et Vol. 2, Part. I, fig. 38 à 40) ;
- l'analyse de la matière organique (Vol. 2, Part. I, fig. 32b et c) ;
- l'analyse granulométrique de la fraction sableuse (Vol. 2, Part. V, fig. 3).

B- Résultats des analyses.

Les résultats des analyses seront présentés sous la forme "d'éléments" soit nouveaux, soit complémentaires à la connaissance antérieure à cette étude du secteur de Gournay-sur-Aronde. (A cet effet, je suivrai une démarche identique à celle utilisée pour la présentation du bilan des études G.d.F.-I.F.P.).

1- Le problème des limites (fig. 88).

Si la limite supérieure du faciès wealdien ne pose pas de problème, des incertitudes existent quant à la fixation de la limite inférieure et à l'identification des étages.

Les Ostracodes, des Foraminifères, les restes de vertébrés (dents et écailles de Poissons), les Dinokystes et les spores apportent des éléments de réponses chronostratigraphiques aux divisions du "faciès wealdien" adoptées par Gaz de France.

ECHANTILLON	OSTRACODES	FORAMINIFERES	POISSONS	DINOKYSTES	SPORES	Gamma-Ray Résistivité	DIVISIONS
SR 109-1	Bar. inf.						"Couverture wealdienne"
SR 110-1	Bar. inf.	Ber. à Alb.					
SR 115-1	Bar. inf.	Ber. à Alb.					
SR 121-2	Bar. inf.						
SR 122-1			Crét. inf.				
SR 122-2	Bar. inf.						
SR 124-2	Bar. inf.			Ber. à Bar.			
SR 141-1	Barrémien						
SR 141-2				Val. à Apt.			
SR 180-1	Barrémien			Val. sup. à Apt.	Haut. à Bar.		
SR 181-1				Ber. à Haut.			
SR 141-3					Ber. à Apt.	Sable supérieur	
SR 181-4					---Val.---		
SR 109-2					Haut. à Bar. inf.	Sable inférieur	
SR 121-5					à partir du Crét.		
SR 124-3					Purb. à Alb.		
SR 115-2					Val. à Apt.	"Complexe de base"	
SR 115-5	Port. sup à Purb.						
SR 122-8	Port. sup à Purb.						
SR 122-9			Crét. sup. ?				
SR 141-8	Port. à Purb.						
SR 180-8							
SR 181-8	Purbeckien		Crét. sup. ?				
SR 109-4	Port. ?		Crét. sup. ?				



Fig. 88.- Datation résumée des divisions constitutives du "faciès wealdien" de Gournay-sur-Aronde.

Fig. 88.- Datation of the constituent units of the "Wealden facies" of Gournay-sur-Aronde.

L'ensemble des résultats est présenté (fig. 88) sous la forme d'un log composite, de diagraphies de radioactivité naturelle (Gamma-Ray) et de résistivité, théorique traduisant les différentes divisions ("Couverture wealdienne", Sable supérieur et Sable inférieur, "complexe de base"). En regard de ce log, sont reportés les niveaux ayant un contenu paléontologique à caractère stratigraphique et, pour chacun d'eux, quelle catégorie d'individu fournit un âge. De ce tableau synthétique, il ressort des confirmations et des contradictions :

- la "Couverture wealdienne", à partir des Ostracodes surtout et des Foraminifères, des restes de Poissons et des Dinokystes, est d'âge Barrémien inférieur ;
- l'ensemble réservoir, sur la base du contenu sporo-pollinique, est d'âge Crétacé ;
- le "complexe de base" est d'âge Jurassique (Ostracodes) et plus précisément Jurassique supérieur à faciès Purbeckien.

Il semble, néanmoins, qu'une partie supérieur du "complexe de base" soit d'âge Crétacé (SR115-2) (fig. 88). Cette suspicion est confortée par l'observation des variations des cortèges argileux (Vol. 2, Part. V, fig. 38 à 46) et, notamment, par les variations du rapport (I %/K %), (Vol. 2, Part. V, fig. 47 à 55). Les cortèges argileux du Jurassique se distinguent de ceux du Crétacé (Chap. IV, III, D) par une augmentation de l'illite et une diminution de la kaolinite induisant une nette augmentation du rapport I/K ; la smectite est présente.

On peut donc utiliser les variations de ce rapport, en complément ou pour suppléer à la stérilité de certains niveaux, afin de fixer la limite Jurassique-Crétacé. Trois situations se présentent sur le secteur de Gournay-sur-Aronde :

- les argiles ne permettent pas de trancher suite à l'échantillonnage non judicieusement réparti (puits SR124) ;
- le "complexe de base" est entièrement d'âge Jurassique (puits SR109, SR110, SR121, SR141, SR180 et SR181) ;
- le "complexe de base" est en partie d'âge Jurassique (puits SR115 et SR122).

Les épaisseurs du faciès wealdien diminuent, en moyenne, de 10 mètres (28 m) sur les neuf puits (Vol. 2, Part. V, fig. 47 à 55) avec, au plus, en fonction de l'échantillonnage 28 m (SR109) ; 23,50 m (SR110) ; 31,40 m (SR115) ; 32,20 m (SR121) ; 31,80 m (SR122) ; 27,80 m (SR141) ; 31,40 m (SR180) et 25 m (SR181). A partir de ces valeurs, l'isopaque 30 mètres a été esquissé (fig. 82). Ces modifications ne changent pas, apparemment, le dispositif initial ; l'épaississement est maintenu vers le Sud-Ouest, tout au plus on observe un léger glissement vers le Nord-Ouest des digitations du secteur sommital.

Remarque : Lors des extractions paléontologiques des écailles de Poissons attribuées au genre *Lépisosteus* (Gayet M, c.m.) ont été rencontrées dans les niveaux 109-4, 122-9, 181-8. Sa présence n'était connue que depuis le Crétacé supérieur et associée à des formes d'eau douce (rivière). Son association avec des Ostracodes indiscutablement du Jurassique supérieur, en milieu laguno-marin, conduit à abaisser la limite inférieure d'apparition de ce genre, d'une part et d'envisager un milieu de vie au moins épisodiquement lagunaire d'autre part (une espèce, actuellement, passe parfois en mer).

2- Caractéristiques des unités.

A partir de cette redéfinition de la limite inférieure, le faciès wealdien est composé, du haut vers le bas, d'un ensemble argileux (Couverture wealdienne) surmontant un ensemble sableux qui peut être, localement, scindé en un sous-ensemble supérieur (Sable supérieur) et un sous-ensemble inférieur (Sable inférieur) par l'intercalation d'un banc argileux peu développé. Le faciès wealdien repose sur un Jurassique à faciès purbeckien non typique puisque la partie supérieure est constituée d'une alternance d'argile silto-sableuse et de sables argileux, seule la partie inférieure étant carbonatée.

a- La couverture wealdienne (C.W.).

Son lithofaciès est homogène à l'échelle du secteur d'étude avec des argiles lignito-pyriteuses, silteuses, grises à gris-vert, à passées lumachelliques. La microfaune est abondante et diversifiée (Vol. 2, Part. V, fig. 47 à 55) avec des Ostracodes, des Foraminifères, des Gastéropodes, des Lamellibranches et des restes de vertébrés. La microflore assez bien représentée est dominée par les Dinokystes (Vol. 2, Part. V, fig. 47 à 55).

Les homogénéités lithofaciologiques et paléontologiques sont accompagnées de celles des assemblages argileux (Vol. 2, Part. V, fig. 38 à 46) dominés par la kaolinite et l'illite (rapport voisin de 1) (Vol. 2, Part. V, fig. 47 à 55).

b- Le réservoir wealdien.

Les sables supérieurs sont très peu argileux, de teinte grise à gris-rosé, pyriteux et ligniteux ; les passées argilo-sableuses à sablo-argileuses sont rares. En certains puits, la base est soulignée par un banc argileux d'épaisseur variable (SR109, SR121, SR122, SR124, SR180, SR181) (Vol. 2, Part. V, fig. 47 à 55), silto-sableux, lignito-pyriteux, gris à gris-foncé. Au dessous, les sables inférieurs, plus épais et plus argileux contiennent des

intercalations argilo-sableuses et mêmes argileuses, plus fréquentes. La couleur est très variable puisqu'elle va du gris-clair au vert en passant par du gris-rosé et du gris-sombre.

L'étude de la fraction argileuse montre, par rapport à la "couverture wealdienne" un léger enrichissement en kaolinite au détriment de l'illite qui semble devoir être mis en relation avec la diminution de l'argilosité ainsi que le suggère le parallélisme avec la courbe d'argilosité (QA) (Vol. 2, Part. V, fig. 38 à 46). Ces analyses font apparaître, également, la présence de talc (Vol. 2, Part. V, fig. 30 et 38 à 46) (pyrophyllite ?) dans ces niveaux en quantité parfois importante (10 %, SR121-5, SR180-2, SR180-3).

Lors de la recherche de microfaune, ces niveaux se sont révélés stériles ; seuls des spores et pollens ont été trouvés dans le banc argileux intercalaire (SR124-3, SR181-4, SR181-6, SR122-3, SR121-4, SR121-5, SR109-2) et des Dinokystes (SR181-4).

Des analyses granulométriques ont été réalisées sur ces niveaux (Vol. 2, Part. V, fig. 56 à 61). Les informations que l'on peut en retirer sont réduites en raison de la discontinuité importante des prélèvements (liée au taux de récupération des carottes). Néanmoins on constate que les sables supérieurs et inférieurs (SR180-2, SR141-4, SR180-6, SR121-6 et SR110-2) (Vol. 2, Part. V, fig. 56 à 60) sont fins dans l'ensemble. Au puits SR180, où deux niveaux consécutifs (SR180-2 et SR180-3) (Vol. 2, Part. V, fig. 60 et 61) ont été analysés, la diminution du grain moyen vers le haut traduit un granoclassement normal.

Au puits SR126, une analyse granulométrique a été réalisée par l'I.F.P. (réf. 27420, 1979) de manière relativement régulière sur le réservoir wealdien puisque la récupération des carottes a été bonne (87 %). A partir des courbes cumulatives (Vol. 2, Part. V, fig. 62) la médiane (ou quartile 50) a été mesurée. On observe (fig. 89) du bas vers le haut une tendance à un affinement dans laquelle s'intercale assez régulièrement des niveaux plus grossiers, notamment dans les deux-tiers supérieurs.

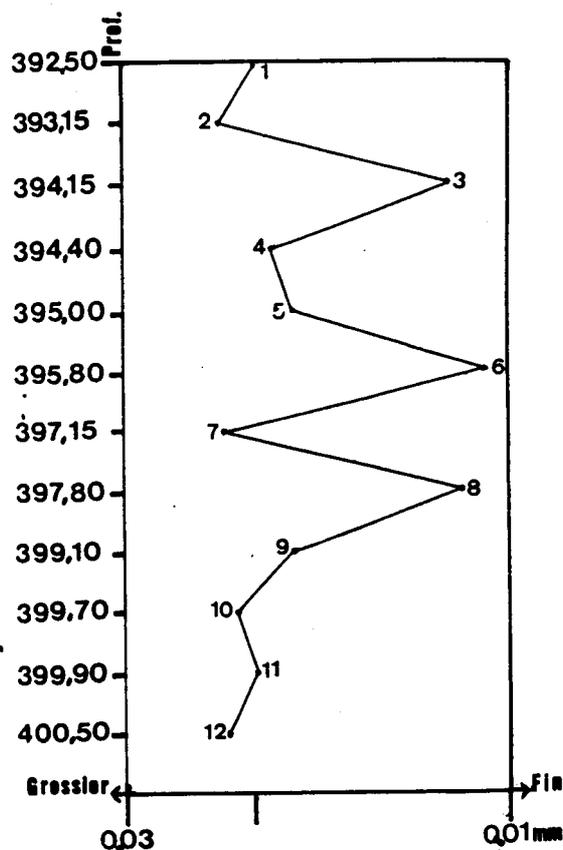


Fig. 89.- Puits SR112 ; report en fonction de la profondeur du quartile 50 (Mediane) lu sur les courbes cumulatives (vol. 2, partie IV, fig. 62).

Fig. 89.- Well SR 112 ; Medians as a function of the depth read on the cumulativ curves (vol. 2, part IV, fig. 62).

c- Le Purbeckien ou "complexe de base".

Le "complexe de base" est constitué d'une série argilo-sableuse plus ou moins consolidée, à lignite et pyrite rares se présentant sous la forme d'alternances décimétriques à métriques de sables argileux verts et d'argiles gris-cendré à verdâtres parfois silteuses. Localement s'intercalent des bancs métriques carbonatés (calcaire argilo-grésodolomitique gris à gris-clair).

Les cortèges argileux (Vol. 2, Part. V, fig. 47 à 55) se distinguent de ceux du Crétacé inférieur à faciès wealdien par une augmentation nette de l'illite mais sans rapport avec le lithofaciès que ce soit en terme d'argilosité ou en terme de taux de carbonates. La smectite est fréquente ainsi que le talc (pyrophyllite ?).

Le contenu paléontologique est riche d'Ostracodes, de restes de vertébrés de spores et pollens et de Dinokystes.

3- Environnement de dépôt.

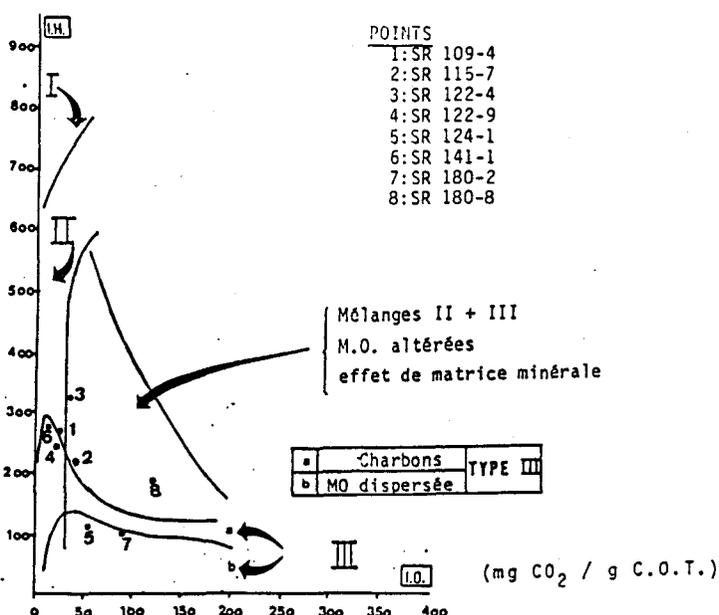
Les informations sur le milieu de sédimentation des dépôts post-Portlandien sur le site de Gournay-sur-Aronde sont apportées par la microfaune et la microflore (Vol. 2, Part. V, fig. 47 à 55).

C'est ainsi que le Purbeckien (partie inférieure du "complexe de base") correspond à un environnement laguno-marin avec la présence d'Ostracodes (SR115-5, SR122-9, SR141-8, SR181-8) et de Dinokystes abondants (SR115-5, SR115-6, SR122-9, SR141-9, SR180-8).

Le faciès wealdien sableux (partie supérieure du "complexe de base" et les sables inférieurs et supérieurs) s'est déposé en milieu continental marqué par l'abondance des spores (SR110-3, SR181-5, SR181-7). Le banc argileux intercalaire entre les sables inférieurs et supérieurs, riche en Dinokystes (SR121-4, SR121-5, SR122-3, SR181-3, SR181-4) ou/et de pollens dissaccates (SR 122-3, SR124-3), exprime un retour à des conditions plus littorales où le cachet marin est plus marqué. Je considère ce niveau, par sa position stratigraphique et son caractère marin, à un écho de la transgression de l'Hauterivien mise en évidence sur le secteur de Germigny-sous-Coulombs qui est, par ailleurs, marquée dans le Pays de Bray par un banc fossilifère marin (Lemoine, 1907) qui a fourni une faune analogue à celle qui accompagne le calcaire à Spatangues de la région de l'Aube d'âge Hauterivien.

Les argiles de la "Couverture wealdienne" se sont mises en place, d'après les Ostracodes et Foraminifères, dans un milieu marin généralisé à l'échelle du secteur d'étude fluctuant entre un milieu marin de type plate-forme externe - plate-forme interne (SR110-1, SR115-1, SR121-1, SR121-2, SR122-1, SR180-1) à laguno-marin (SR 122-1) ou saumâtre (SR121-1, SR122-2). Les Dinokystes abondants indiquent le caractère marin.

L'étude de la matière organique (méthode Rock-Eval) dont les résultats (Vol. 2, Part. I, fig. 32a à c) sont reportés sur des diagrammes IO/IH (fig. 90a) et Tmax/IH (fig. 90b) montre le caractère fluctuant du milieu de dépôt avec la présence de matière organique d'origine continentale (Type III) (points 1, 4, 5, 6, 7) et de matière organique mélangée, marine et continentale (Types II et III) (points 2, 3 et 8) (fig. 90a). Ces résultats sont corroborés par le diagramme Tmax/IH (fig. 90b) sur lequel on remarquera la position du point n° 3 (matière organique d'origine marine, type II) qui correspond au banc argileux intercalaire entre les sables supérieurs et inférieurs.



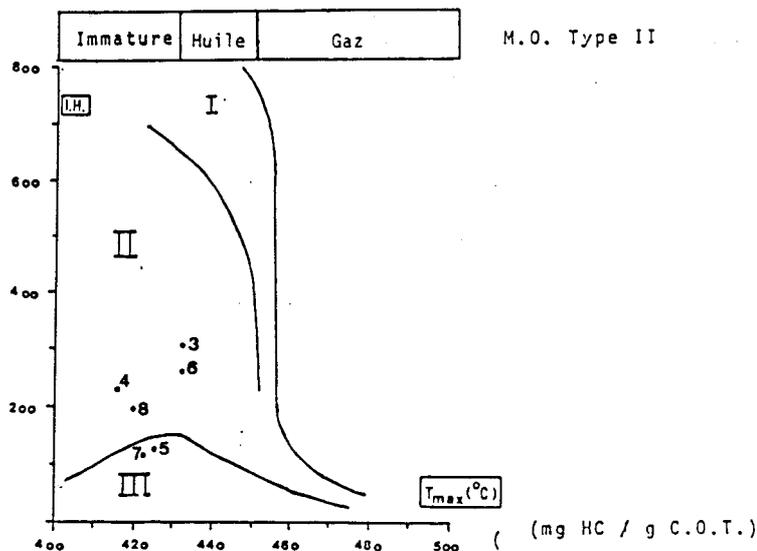


Fig. 90.- Report des résultats "Rock-Eval" sur des diagrammes IO/IH et Tmax (°C)/IH. Site de Gournay-sur-Aronde.

Fig. 90.- "Rock-Eval" results plotted on diagrams IO/IH and Tmax (°C)/IH. Site of Gournay-sur-Aronde.

III- CONCLUSION.

L'analyse des minéraux lourds (Vol. 2, Part. II, fig. 38 à 40) (fig. 51 et 52) a mis en évidence une origine double (fig. 52) (Chap. IV; D, 4) des sédiments :

- le Massif Londres-Brabant par la richesse en rutile et la pauvreté en zircons rosés et violets (fig. 51) ;
- le Massif Armoricain par la présence de staurotide cannelée et l'abondance des zircons bruns.

L'origine armoricaine est confortée par la présence du talc (pyrophyllite ?) (Chap. V, I, C, 2).

Les mécanismes de dépôt des sédiments sableux et argileux invoqués par Gaz de France ne peuvent être ni infirmés ni confirmés à partir des résultats acquis, en particulier par la disposition des forages qui ne sont pas idéalement répartis. Un modèle de sédimentation deltaïque ne peut être retenu en raison de dépôt et de milieu de type plate-forme, de la faible puissance de ceux-ci et du pendage faible qui diminue avec la profondeur. Le modèle estuarien est le plus vraisemblable en raison de la géométrie des corps sableux (fig. 84 et 85). Au Barrémien inférieur (fig. 91) ce dispositif se perpétue en s'atténuant lors du dépôt des argiles de la "Couverture wealdienne". Au sein de celle-ci l'intercalation du banc sableux s'interprète à partir de la pendagemétrie (fig. 86) comme résultant du remaniement par des courants côtiers parallèles au rivage des apports détritiques grossiers venant du Nord.

La polarité de la transgression du Barrémien inférieure ne peut être mise en évidence de façon nette, néanmoins la répartition des milieux en terme "d'intensité du caractère marin" à partir de la microfaune et de la microflore (Dinokystes - Pollens dissacates), la distribution des minéraux argileux (smectite, kaolinite, illite, talc) indiquent une polarité générale ESE-NNW guidée, sur le site étudié, par l'inégalité de la surface induite par la présence des chenaux fluviaux.

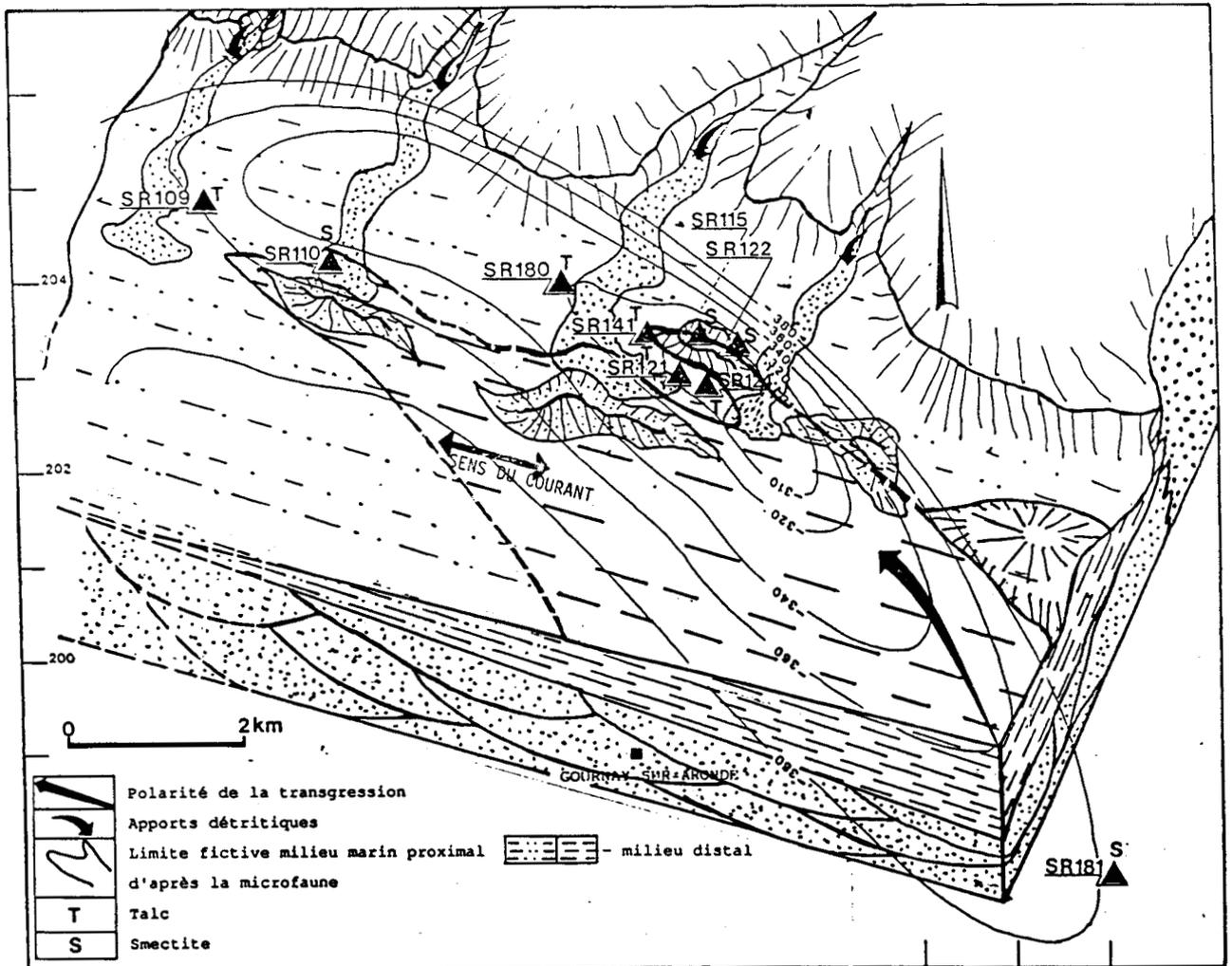


Fig. 91.- Bloc diagramme du modèle sédimentologique appliqué à la Couverture wealdienne. Echelle non homogène ; le rivage est à environ 30 km du secteur étudié (adapté de G.d.F.).

Fig. 91.- Sedimentological model of the "Wealden cap-rock" ; non homogeneous scale ; the shore-line is approximately 30 km Northward from the studied area (G.d.F., modified).

CHAPITRE VII

**CONCLUSION GENERALE -
INTERPRETATION**

CHAPITRE VII : CONCLUSION GENERALE .

INTERPRETATION

I- LES FAITS MAJEURS.

La régression fini-jurassique est marquée par des dépôts margino-littoraux saumâtres à évaporitiques (faciès purbeckien). Elle résulte de la combinaison d'une baisse eustatique et d'un léger soulèvement de l'Europe occidentale (Rat *et al.*, 1987).

L'exsondation purbeckienne est suivie de déformations liées aux évènements tectoniques des phases cimmériennes tardives (Ziegler, 1978) et de la réactivation (jeu en failles normales) d'accidents structuraux hérités de la tectonique hercynienne (Pomerol, 1977).

A la limite Jurassique-Crétacé, le Bassin Parisien apparaît sous la forme d'une vaste cuvette émergée ondulée, parsemée de lagunes temporaires dont l'érosion aura décapé tout ou partie des formations purbeckiennes. Deux familles d'accidents structuraux orientés Nord-Ouest Sud-Est :

- la faille du Pays de Bray relayée par la faille de Vittel, à l'Est ;
- les failles de Rouen, de la Seine et du Sennely, à l'Ouest ;

permettent de distinguer trois zones :

- la zone Nord, à l'Est de la faille du Pays de Bray, en forme de cuvette dont la profondeur remonte régulièrement du Sud vers le Nord ;
- la zone Sud, à l'Ouest des failles de la Seine et du Sennely ;
- la zone centrale, compartiment relevé, qui plonge du Nord vers le centre du Bassin de Paris.

Sur les bordures, deux blocs surélevés et actifs vont contrôler la sédimentation :

- le bloc armoricain à l'Ouest et sa jonction au Sud avec le Massif Central ;
- le Massif Londres-Brabant au Nord-Est.

Au Sud-Est et à l'Est - Sud-Est, au Sud d'une ligne Sancerre-Bar le Duc, le bassin reste sous la dépendance du domaine alpin et de la Mésogée avec laquelle il est en communication par le détroit de Bourgogne (Curnelle *et al.*, 1986).

C'est sur ce dispositif que se déposent les formations du Crétacé inférieur (Valanginien à Barrémien inférieur) datées par la microfaune et la microflore ou, en leur absence, resituées à partir des variations des cortèges de minéraux argileux et rattachées au faciès wealdien.

A partir du Valanginien, le Bassin de Paris se comble par des sédiments argilo-sableux en provenance du Massif Londres-Brabant (secteurs de Germigny-sous-Coulombs et de Gournay-sur-Aronde) et du Massif Armoricaïn (secteurs de Gournay-sur-Aronde et de La Chapelle-en-Vexin). Ils reposent en discordance sur du Portlandien (La Chapelle-en-Vexin) ou sur du Purbeckien soit carbonaté (Germigny-sous-Coulombs), soit argilo-sableux (Gournay-sur-Aronde). La distinction entre le "Purbeckien" et le "Wealdien" basée sur le faciès (carbonaté dans le premier cas, argilo-sableux dans le deuxième) mérite d'être révisée d'autant plus que dans le secteur le plus méridional de cette étude (Germigny-sous-Coulombs, forage CR16), une partie basale carbonatée est attribuée au Valanginien.

La puissance des dépôts "wealdiens" diminue du Sud-Est (100 m en moyenne à Germigny-sous-Coulombs) vers le Nord (28 m à Gournay-sur-Aronde) ainsi que transversalement, vers le Nord-Ouest (28 m à La Chapelle-en-Vexin) et le Nord-Est (8 m environ à Vregny). Parallèlement, les passées détritiques grossières prennent plus d'importance ; ainsi le rapport argile/sable passe de 0,65 à Germigny-sous-Coulombs à 0,15 à La Chapelle-en-Vexin.

Selon ces mêmes directions, le caractère continental des dépôts s'accroît. Dans l'intervalle de temps correspondant aux dépôts wealdiens dont seul le secteur septentrional (La Chapelle-en-Vexin) justifie le qualificatif, deux incursions marines ont marqué ces formations de leur empreinte dont l'intensité décroît du Sud-Est vers le Nord-Ouest. La première transgression est datée du Valanginien terminal - Hauterivien basal ; elle dépasse le secteur de Germigny-sous-Coulombs, effleure celui de Gournay-sur-Aronde et s'amortit dans le Pays de Bray. La seconde transgression datée du Barrémien inférieur, plus développée Ouest-Est, atteint son maximum d'extension au Nord de Gournay-sur-Aronde.

II- INTEGRATION DE CES RESULTATS AUX ETUDES ANTERIEURES A L'ECHELLE DU BASSIN DE PARIS.

A- Répartition des formations wealdiennes à l'échelle du Bassin de Paris.

Trois zones de faciès sont distinguées dans les formations du Néocomien-Wealdien selon l'axe Sud-Est - Nord-Ouest du bassin (Morizet *et al.*, 1974), (Chap. I, III, A, 4, c ; fig. 11). La révision des caractéristiques lithofaciologiques de chacune de ces zones, jointe à une synthèse des données issues d'un grand nombre de forages pétroliers (les forages les plus typiques sont reportés sur la figure 92) et aux résultats acquis lors de l'étude des sites de Germigny-sous-Coulombs, Gournay-sur-Aronde, La Chapelle-en-Vexin et Vregny permet de dresser une carte synthétique (fig. 92) de répartition des différents faciès à l'échelle du bassin.

On distingue, pour un intervalle de temps comprenant le Valanginien, l'Hauterivien et le Barrémien inférieur, trois zones de faciès (I à III) du Sud-Est vers le Nord-Ouest.

La zone I ou "marno-calcaire" est située au Sud d'une ligne qui s'étend de Sully-sur-Loire (fig. 92, n° 10), passe au Nord de Troyes et s'arrête au Sud de Reims. Les dépôts sont carbonatés et exclusivement marins. Ils passent, vers le Nord par un biseautage, à la zone II ou "intermédiaire", argilo-sableuse, en forme de boomerang à concavité tournée vers le Nord-Ouest. Elle s'étend de Orléans au Sud-Ouest à Reims au Nord-Est et bifurque vers le Nord-Ouest jusqu'au Nord du Pays de Bray. Le flanc convexe est limité par la zone I au Sud et légèrement en deçà de la faille de Somme au Nord-Est ; le flanc concave s'appuie sur le bloc central du bassin au niveau de la faille du Pays de Bray. On y distingue deux sous-zones emboîtées en fonction de la distribution de l'argile :

- une sous-zone axiale (IIa) caractérisée par une interstratification nette de bancs d'argile massive et de sables propres ou argileux ;
- une sous-zone périphérique (IIb) typée par une distribution différente des argiles, de façon dispersée au sein des sables. Les bancs d'argile massive sont rares et peu développés.

La zone II correspond à un milieu de dépôt mixte, intermédiaire entre les milieux marin de la zone I et continental de la zone III. On y note une influence marine certaine, épisodique, corrélativement au développement des bancs d'argile massive. Parallèlement la différenciation plus marquée entre l'argile et le sable correspond à un éloignement par rapport aux sources du matériel terrigène.

La zone III, dans l'axe du Bassin de Paris, orientée SE-NW, est limitée à l'Ouest par les failles de Rouen, de la Seine et du Sennely, à l'Est, par la faille du Pays de Bray. Elle communique, au Nord du Pays de Bray avec une bande étroite sur le flanc Nord-Est de la

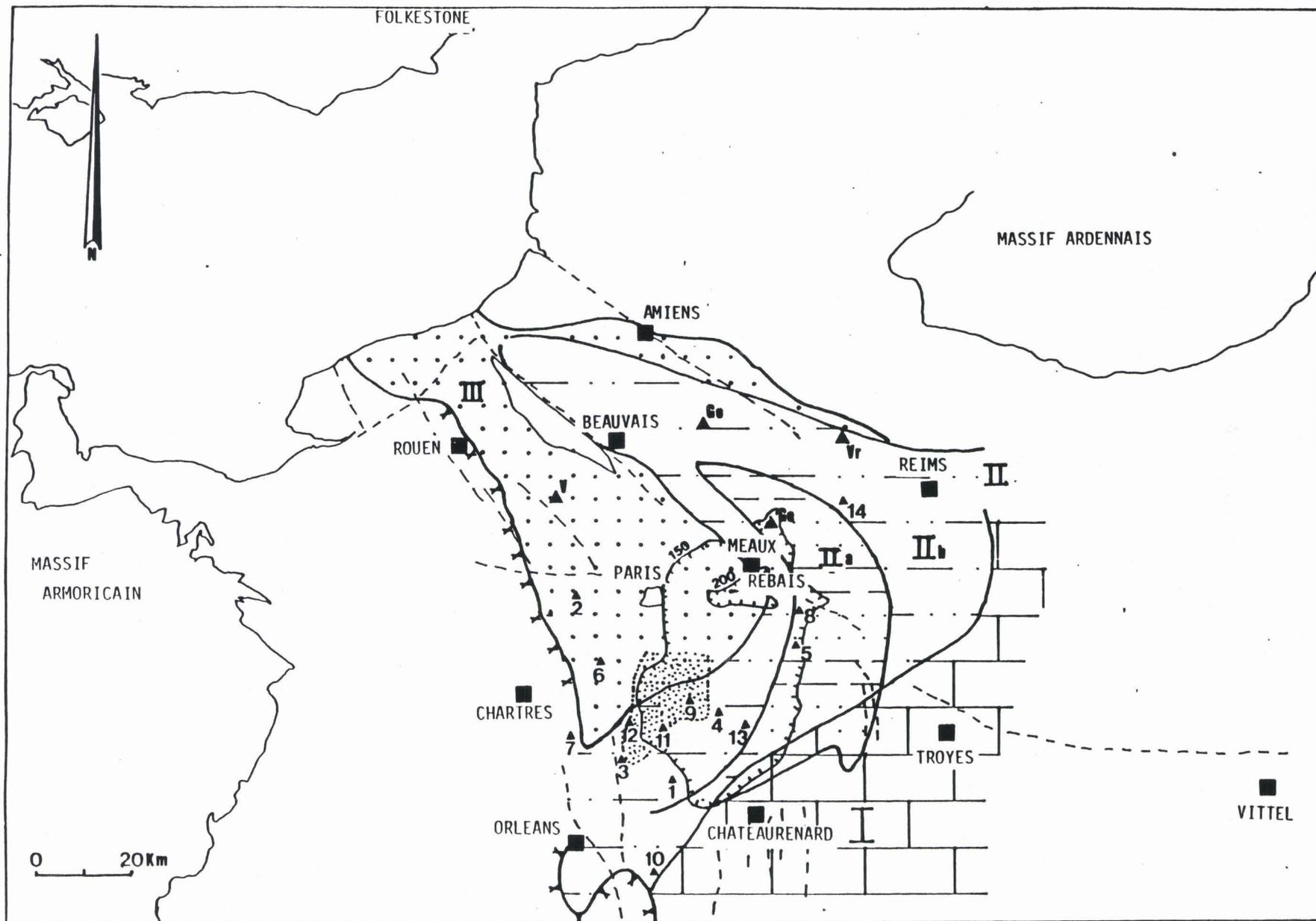


Fig. 92.- Répartition des zones de faciès des formations wealdiennes dans le Bassin de Paris.

Fig. 92.- Basin of paris : Distribution of the various facies of the Wealden formations.

zone II et limitée, semble-t-il, à l'Est par la faille de Somme. Les formations, essentiellement sableuses, présentent des lentilles argileuses et des alternances argilo-sableuses.

La puissance des dépôts augmente régulièrement du Nord-Ouest (0 à 20 m) vers le centre du Bassin de Paris (environ 150 m) dans la région de Rebais, et diminue vers l'Ouest (lacune ou érosion à l'Ouest d'Etampes (n° 7) et vers l'Est (100 km à Villemoyenne (n° 14), quelques mètres à Vregny et absence à Guignicourt).

B- Extension des cycles transgressifs.

La remise en eau du Bassin de Paris, après la régression fini-jurassique, par la mer alpine à partir du détroit de Bourgogne, s'effectue selon une polarité majeure Sud-Est - Nord-Ouest avec une composante secondaire Est-Ouest (Rat *et al.*, 1987).

Le premier cycle transgressif du Crétacé inférieur débute dès le Valanginien au Sud-Est (région de Châteaurenard, fig. 93) sur un soubassement calcaire portlandien, érodé, avec des dépôts détritiques de milieu fluvio-deltaïque à marin littoral (Sables de Griselles). Il atteint son apogée à l'Hauterivien inférieur à moyen avec le dépôt du calcaire à Spatangues au Sud-Est qui passe latéralement vers le Nord-Ouest à des argiles marines à oolithes ferrugineuses puis à des dépôts littoraux et continentaux. Le suivi de l'évolution latérale des faciès montre que la mer progresse vers le Nord-Ouest jusqu'aux environs de Perthes (fig. 93, n° 9), passe au Sud de Paris et se dirige vers le Nord - Nord-Ouest dans un golfe limité à l'Ouest par la faille du Pays de Bray et à l'Est par la faille de la Somme, jusqu'au Nord du Pays de Bray en effleurant le Sud de la région de Gournay-sur-Aronde. Ce cycle s'achève à l'Hauterivien moyen comme en atteste le développement de formations détritiques plus grossières, sableuses, à caractère continental, fluvio-littoral et littoral (Sables de Château Landon et Sables de Châteaurenard).

A l'Hauterivien terminal - Barrémien inférieur, s'amorce (fig. 93) un deuxième cycle transgressif selon la même polarité et superposé au précédent. Il s'en distingue par une extension géographique légèrement différente, plus étalée longitudinalement au Sud et moins développée vers le Nord puisque la mer ne dépasse pas le Sud du Pays de Bray. Le faciès des dépôts qui accompagnent la transgression barrémienne avec les argiles Ostréennes est plus homogène à l'échelle du Bassin de Paris. Le deuxième cycle transgression-régression du Crétacé inférieur s'achève avec les sables et argiles panachés continentaux du Barrémien.

Les deux cycles transgressifs du Crétacé inférieur dans le Bassin de Paris s'inscrivent correctement dans les variations eustatiques globales décrites par Vail *et al.* (1987). Le parallélisme est étroit avec la courbe de grande amplitude ("long term") qui indique une montée régulière du niveau marin du Valanginien au Barrémien inférieur où il atteint son paroxysme. La corrélation de cette courbe avec les évolutions des rapports Illite/Kaolinite (fig. 37) et Dinoflagellés/Microspores (fig. 62) est tout à fait correcte.

Dans la courbe "long term" de l'élan transgressif global du Crétacé inférieur s'inscrit une succession d'oscillations du niveau marin, de faible amplitude (short term). Les analogies avec ce qui peut être observé dans le bassin de Paris sont plus délicates à établir en raison de l'imprécision du "calage" chronostratigraphique. Néanmoins, la régression fini-hauterivienne pourrait être rapprochée d'une "microvariation" du niveau marin indiquée par Vail à la base du Barrémien.

Cependant, le conditionnel s'impose en raison des éléments suivants :

- la "régression" fini-hauterivienne, sans être de la même ampleur que celle du Jurassique supérieur, est néanmoins importante et la continentalisation est marquée dans les trois-quarts du bassin ;
- la comparaison des cartes de répartition des faciès (fig. 92) et des extensions du milieu marin (fig. 93) montre que la zone de subsidence maximum est essentiellement le siège de dépôts continentaux et détritiques grossiers (puissance maximale des sables de Griselles).

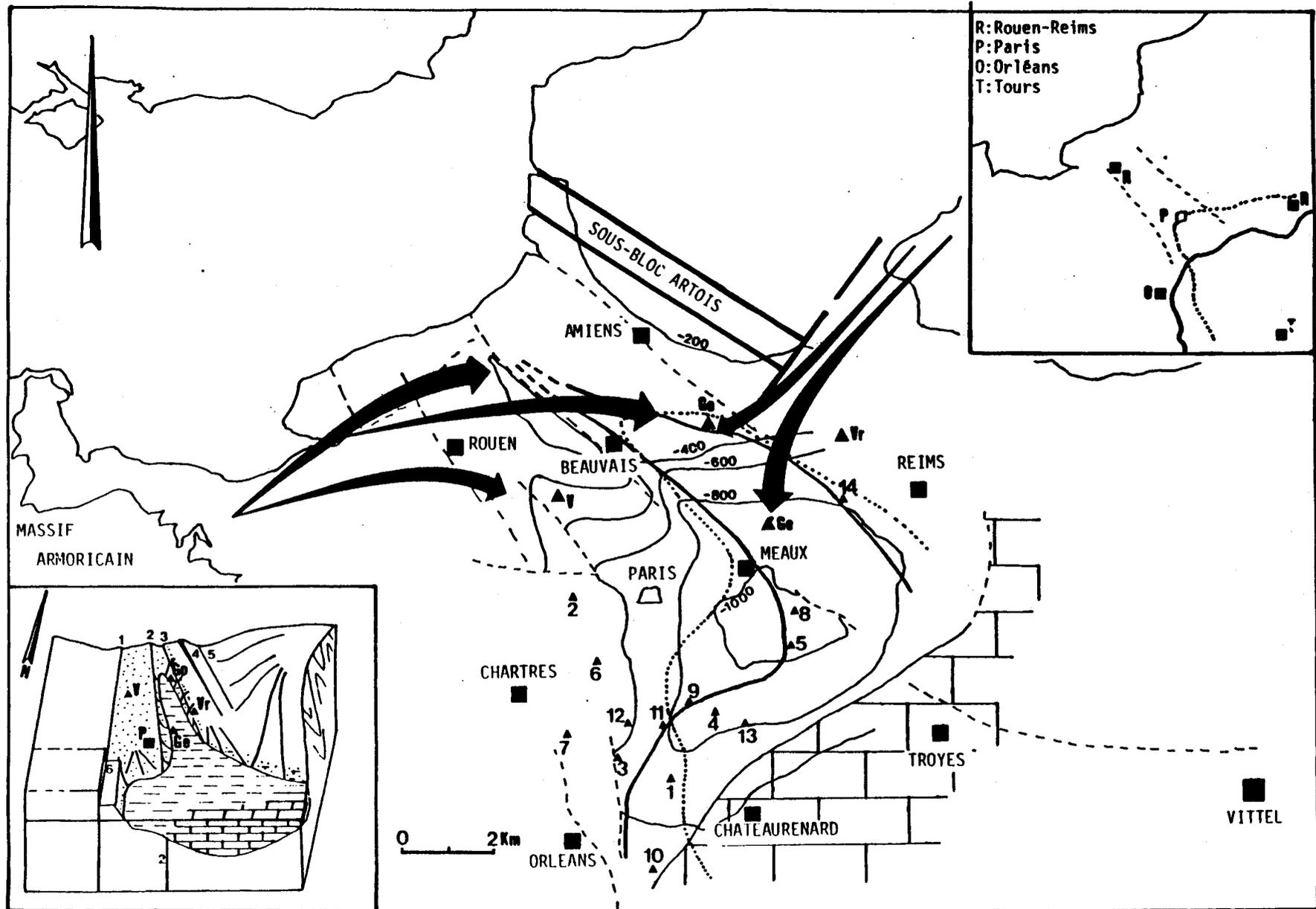


Fig. 93.- Extensions de la mer alpine à l'Hauterivien et au Barrémien inférieur dans le Bassin de Paris.

Fig. 93.- Basin of Paris : Extensions of the Tethys Sea during Hauterivian and Lower Barremian.

La "régression" fini-hauterivienne résulterait alors de la conjonction d'une baisse du niveau marin, voire une stagnation, accentuée par un comblement terrigène (progradation des zones émergées).

C- Interprétation.

L'envahissement du Bassin de Paris par la mer alpine par le détroit de Bourgogne a son origine dans un phénomène tectono-eustatique.

Le Crétacé inférieur est caractérisé par une période de distension durant laquelle se produit l'ouverture de l'Atlantique central au Nord de la dorsale de Gibraltar (rift intracontinental) (Curnelle *et al.*, 1986). Cette accréation importante se traduit par une augmentation du taux d'expansion océanique qui amène un gonflement de la ride médio-atlantique. Ce mouvement de remontée des fonds marins entraîne, pour un volume d'eau relativement constant, une expansion marine (eustatisme), (Rat *et al.*, 1987). Elle est influencée, dans le Bassin de Paris, par un jeu tectonique du tréfonds. On assiste à un affaissement régional vers la mer alpine, en particulier du panneau oriental du Sennely (Weber, 1973) qui devient subsident. Pendant le même temps, les principaux accidents du socle (failles de Rouen, de la Seine, du Pays de Bray, de la Somme) sont réactivés avec un jeu en faille normale compartimentant ainsi le bassin en zones hautes et effondrées.

La morphologie du bassin est traduite par la répartition, la puissance des faciès et l'extension du domaine marin avec :

- un bloc axial limité par les failles de Rouen, de la Seine et du Sennely à l'Ouest et la faille du Pays de Bray, relevé au Nord et plongeant vers le Sud-Est ;
- une cuvette sur son flanc Est, s'approfondissant vers le Sud-Est, limitée à l'Est par la faille de Somme. Ce bassin étroit s'est comporté, d'un point de vue hydraulique, comme un chenal canalisant les invasions marines méridionales.

Le "guidage", ainsi qu'en atteste la "non-superposition" du centre de subsidence et des extensions marines a également été influencé par le taux important de la sédimentation terrigène par rapport au taux de subsidence du bassin.

D- Relations avec l'Europe du Nord-Ouest.

Les formations continentales du Crétacé inférieur (Valanginien à Barrémien inférieur) à faciès wealdien dans le Bassin de Paris se caractérisent par des dépôts argilo-sableux dont l'épaisseur (lacune au Nord) ne dépassent pas 150 m dans le centre du bassin. Le milieu, continental, est empreint en permanence de la proximité de la mer alpine (d'après la faune d'Ostracodes, en l'absence de formes boréales) qui envahira ce secteur à deux reprises. Ces dépôts diffèrent sensiblement de leurs équivalents en Europe du Nord-Ouest (Angleterre, Allemagne du Nord, Pays-Bas, Belgique) (Chap. I, II) par :

- une épaisseur moindre (plus de 500 m en Angleterre, Allemagne, Pays-Bas) ;
- la dépendance, non pas de la mer alpine, mais de la mer boréale dont la présence ne se traduira par des dépôts marins qu'au sommet des formations wealdiennes ;
- le diachronisme, avec des dépôts plus précoces en Allemagne et aux Pays-Bas (Tithonique supérieur à Berriasien, Allen, 1955, fig. 8 ; Berriasien à Valanginien inférieur, Anderson, 1973).

Ces différences indiquent un particularisme net du Bassin de Paris dans le cadre de l'Europe du Nord-Ouest à cette époque. Il est limité à l'Est par le Massif Londres-Brabant qui l'isole de l'Allemagne et des Pays-Bas et composé d'une alternance de blocs limités par des accidents du socle disposés selon une direction Armoricaïne comme des touches de piano. L'alternance de blocs abaissés et surélevés ont, d'une part influencé la répartition des terrigènes et, d'autre part guidé les avancées de la mer alpine. La séparation avec le bassin anglais est constituée par la remontée des blocs vers le Nord limités par des accidents transverses Nord 30

(zone faillée du Pas-de-Calais) (Robaszynski *et al.*, 1981). A l'Est de la faille de Somme, la présence de sous-blocs (Colbeaux *et al.*, 1980), en particulier le sous-bloc Artois (fig. 93) constituant une zone haute, a isolé l'ensemble Bassin belge - Boulonnais d'affinité Bassin anglais dont il constituerait une terminaison méridionale en forme de doigt.

B

I

B

L

I

O

G

R

A

P

H

I

E

- ABRARD R. (1937).**- Sur l'extension des sables Barrémiens et Hauteriviens dans le Pays de Bray.- *Bull. Mus. Nation. Hist. Nat.*, 2, IX, pp. 227-229.
- ALLEN G.D., LAURIER D. et THOUVENIN J. (1979).**- Etude sédimentologique du delta de la Mahakam.- *Notes et mémoires n° 15. C.F.P. Total.*
- ALLEN J.R.L. (1968).**- Current Ripples. Their relation to patterns of water, and sediments motion.- *North-Holland publishing Company, Amsterdam*, pp. 29, 57 ; 97-129.
- ALLEN P. (1955).**- Age of the Wealden in northwestern Europe.- *Geol. Mag., G. B.*, 92, pp. 265.
- ALLEN P. (1959).**- The Wealden environment : Anglo-Paris basin.- *Phil. Trans. r. Soc., London*, 242, pp. 283.
- ALLEN P. (1963).**- L'âge du Purbecko-wealdien d'Angleterre.- *Mém. B.R.G.M. n° 34. Coll. sur le Crétacé inférieur, Lyon, sept. 1963.*
- ALLEN P. (1967).**- Origin of the Hastings Facies in North-Western Europe.- *Proceedings of the Geologist's Association*, vol. 78, part 1, pp. 27-106.
- ALLEN P. (1975).**- Wealden of the Weald : a new model.- *Proc. Geol. Assoc.*, 86, pp. 389-437.
- ALLEN P. (1975).**- Wealden of the Weald : a new model.- *Proceed of the Geologists Ass., G. B. Vol. 86 (4)*, pp. 389-437.
- ALLEN P. (1981).**- Pursuit of Wealden models.- *J. Geol. Soc.*, vol. 138, 4, pp. 375-405.
- ALLEN P. et KEITH M.L. (1965).**- Carbon Isotope Ratios and Palaeosalinities of Purbeck-Wealden Carbonates.- *Nature, London*, 208, 1278.
- ALLEN P., KEITH M.L., TAN F.C. et DEINES P. (1973).**- Isotopic ratios and Wealden environments.- *Paleontology*, 16, pp. 607-621.
- AMEDRO F. et MANIA J. (1976).**- L' Aptien du Boulonnais.- *Ann. Soc. Géol. Nord*, t. 96, n° 3, pp. 207-216.
- ANDERSON F.W. (1973).**- The Jurassic-Cretaceous transition : The non-marine ostracod faunas.- *In Casey R. and Rawson P.F., The Boreal Lower Cretaceous*, pp. 101-110.

- ANDERSON F.W. et BAZLEY R.A.B. (1971).- The Purbeek Beds of the Weald (England).- *Bull. Geol. Surv. G. B.*, 34.
- ARKELL (1948).- A Geological map of Swindon.- *Wilts Archaeol. and Nat. Hist. Mag.*, LII, 195.
- AUBERT G. et DUCHAUFOR Ph. (1956).- Projet de classification des sols.- *VIe Congr. Intern. Sci. Sol*, 5, E, pp. 597-604.
- BABINOT J.F., DAMOTTE R., DONZE P., GROSIDIER E., OERTLI H.J., SCARENZI-CARBONI G. (1985).- Atlas des Ostracodes de France.- *Mémoire Elf-Aquitaine*, 9. Pau 1985, pp. 163-210.
- BALAVOINE H. ET POMEROL C. (1964).- Les associations des minéraux lourds des sables wealdiens, barrémiens et albiens dans le Sud-Est du Pays de Bray.- *C.R. Som. Soc. Géol. France*, pp. 335-336
- BATTEN D.J. (1973).- Use of palynologic assemblage types in Wealden correlation.- *Paleontology*, Vol. 16, part. 1, pp. 1-40.
- BATTEN D.J. (1974).- Wealden Palaeology from the Distribution of Plant Fossils.- *Proceedings of the Geologists' Association*, vol. 85, part 4, pp. 433-458.
- BATTEN D.J.L. (1987).- Palynofaciès and salinity in the Purbeck and Wealden of Southern England.- *Aspects of Micropaleontology*, Chap. 8
- BERNIER (1984).- Les formations carbonatées du Kimméridgien et du Portlandien dans le Jura méridional. Stratigraphie - Micropaléontologie - Sédimentologie.- *Docum. Lab. Géol. Lyon n° 92 (fasc. 2)*.
- BERTHOIS L. (1975).- Les roches sédimentaires. Vol. 1 : Etude sédimentologique des roches meubles (Techniques et méthodes).- *DOIN Ed.*, 8 Place de l'Odéon, 75006 PARIS
- BIROT P., HENIN S. et al. (1961).- Contribution à l'étude de la désagrégation des roches.- *Centre Docum. Univ., Paris*, 231 p..
- BLONDEAU A. et POMEROL B. et Ch. (1974) .- Notice explicative de la feuille Beauvais n° 102 à 1/50 000.- .
- BLONDEAU A., MEDIONI R., POMEROL B. et WYNS R. (1978).- Excursion géologique dans le Pays de Bray (7-8 Octobre 1978), livret-guide.- *Bull. inf. géol. Bass. Paris*, t. 15, n° 3, pp. 55-95

- BLONDEAU A., POMEROL B. et POMEROL Ch. (1974).**- Notice explicative de la feuille Beauvais n° 102 à 1 / 50.000.- .
- BONTE A. (1941).**- Contribution à l'étude du Jurassique de la bordure septentrionale du Bassin de Paris.- *Bull. Serv. Carte géol. Fr.*, 42, n° 205.
- BONTE A. (1965a).**- Le Wealdien du Boulonnais.- *Colloque sur le Crétacé inférieur, Lyon, Sept. 1963, Mém. B.R.G.M.*, n° 34, pp. 327-331.
- BONTE A. (1969).**- Le Boulonnais.- *Ann. Soc. Géol. Nord t. 84*, pp23-46.
- BONTE A. (1977).**- La tranchée du Vert Mont à Rety (Pas de Calais). Essai critique sur le Crétacé inférieur du Boulonnais.- *Ann. Soc. Géol. Nord, t. 97*, pp. 131-142.
- BRAUN H. (1962).**- Zur Entstehung der marin - sedimentären - Eizenerze.- *Zeitschrift für Erzbergbau und Metallhütte neuezen*, 15, pp. 613-623.
- BRINDLEY G.W. (1949).**- Mineralogy and crystal structure of chamosite.- *Nature*, 164, pp. 319-320.
- BRINDLEY G.W. et BROWN G. (1980).**- Crystal Structures of Clay Minerals and their X-ray identification.- *Edited by G.W. Brindley and G. Brown. Mineralogical Society, 41, Queen's Gate, London SW7 SHR (1980).*
- BRONGMART A. (1823).**- Mémoire sur les terrains de sédiments supérieurs calcaréotrappéens du Vicentin.- *Levrault, Paris, 85 p.*
- BROOKS R.A. et FERREL R.E. jr (1970).**- The Lateral Distribution of Clay Minerals in Lakes Pontchartrain and Maurepas, Louisiana.- *Journal of Sedim. Petr.*, vol. 40, n° 3, pp. 855-863.
- BURST J.F. (1956).**- Mineralogic variability in glauconitelike pellets and its application in stratigraphic studies.- *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 67, pp. 1678.
- BUCKE D.P. et MANKIN C.J. (1971).**- Clay mineral diagenesis within interlaminated shales and sandstones.- *J. sedim. Petrol.*, 41, pp. 971-981.
- BURCK H.D.M. et al (1956).**- Geological History of the Netherlands.- *The Hague.*
- BURGER D. (1966).**- Palynology of Uppermost Jurassic and Lowermost Cretaceous Strata in the Eastern Netherlands.- *Leid. geol. Meded.*, 35, 209.

- BURST J.F. (1958).**- Mineral heterogeneity in "Glauconite"-pellets.- *Amer. Min.*, 43, pp. 481-497.
- BURST J.F. (1958).**- "Glauconite"-pellets : their mineral nature and applications to stratigraphic interpretations.
- CARPENTIER A. (1927).**- La flore wealdienne de Féron-Glageon (Nord).- *Mém. Soc. Géol. Nord*, 10, n° 1
- CASEY R. (1955a).**- The pelecypod superfamily Corbiculacea and its distribution in the British Mesozoic.- *Journ. Wash. Acad. Sci.*
- CASEY R. (1955b).**- The Neomiodonidae, a new family of lamellibranchs.- *Proc. Malac. Soc.*
- CASEY R. (1963).**- The dawn of the Cretaceous Period in Britain.- *South-Eastern Union Sci. Soc. Bull.*, n° 117.
- CASEY R. (1973).**- The ammonite succession at the Jurassic-Cretaceous boundary in eastern England.- *In The boreal Lower Cretaceous*, R. Casey et P.F. Rawson eds, pp. 193-266. *Liverpool Seel House Press.*
- CASEY R. et BRISTOW C.R. (1964).**- Notes on some ferruginous strata in Buckinghamshire and Wiltshire.- *Geol. Mag.*, 101, pp. 116-128.
- CAYEUX L. (1909).**- Les minerais de fer oolithique de France.- *Imp. nat.*, Paris.
- CHAMLEY H. (1966).**- Guide technique du laboratoire de Géologie Marine.- *Document interne Station marine d'Endoume et Centre d'Océanographie de Luminy, Marseille*, 168 p..
- CHAMLEY H. (1979).**- North Atlantic Clay Sedimentation and paleoenvironment since the Late Jurassic.- *From Deep Drilling Results in the Atlantic Ocean : Continental Margins and Paleoenvironment. Maurice Ewing, serie 3, Amer., Geoph. Union. Publ. Ed. M. Talwani, W. Hay, W.B.F. Ryan*, pp. 342-361.
- CHATEAUNEUF J.S. et REYRE Y. (1974).**- Eléments de Palynologie. Applications géologiques.- *Notes de cours parues au B.R.G.M.*
- CHEVALIER M. (1986).**- Etude sédimentologique du R I de Germigny-sous-Coulombs. Etude des caractéristiques pétrophysiques.- *Institut Français du Pétrole. Réf. : 33*
864

- COLBEAUX J.P., DUPUIS Ch., ROBASZYNSKI F., AUFFRET J.P., HAESAERTS P. et SOMME J. (1980).**- Le détroit du Pas-de-Calais : un élément dans la tectonique de blocs de l'Europe Nord-Occidentale.- *Bull. inf. Géol. Bass. Paris, Vol. 17, n°4, pp. 41-54.*
- COLEMAN J.M. (1969).**- Brahmaputra River : Channel processes and sedimentation.- *Sediment. Geol., 3, pp. 129-239.*
- BABINOT J.F., COLIN J.P., DAMOTTE R. (1985).**- Atlas des Ostracodes de France.- *Mémoire Elf-Aquitaine, 9. Pau 1985, pp. 147-162 et pp. 211-256*
- CONYBEARE W.D. et PHILLIPS W. (1822).**- Outlines of the Geology of England and Wales.- (*London*).
- CORNET J. (1927a).**- L'époque Wealdienne dans le Hainaut.- *Ann. Soc. géol. Belg., 50, 89, 132, 161.*
- CORRENS C.W. (1939).**- Die Sedimentgesteine. I. Verwitterung.- *In Barth, Correns et Eskola, Springer, Berlin, pp. 116-130.*
- COTILLON P. (1960).**- Les formations ferrugineuses de l'Hauterivien de Bargème (Var).- *Bull. Soc. géol. Fr., Paris, 5e série, t. XIV, pp. 381-390.*
- CRASQUIN S. (1982).**- Répartition des Ostracodes dans le Viséen du Boulonnais et de l'Avesnois (Nord de la France).- *D. E. A., Lille, 50 p. ronéot..*
- CURNELLE R. et DUBOIS P. (1986).**- Evolution mésozoïque des grands bassins sédimentaires français : Bassin de Paris, d'Aquitaine et du Sud-Est.- *Bull. Soc. Géol. Fr. (8), t. II, n°4, pp. 529- 546.*
- CURTIS C.D. et SPEARS D.A. (1971).**- Diagenetic development of kaolinite.- *Clays Clay Miner., 19, pp. 219-227.*
- CURTIS D. (1977).**- Sedimentary geochemistry : environments and processes dominated by involvement of an aqueous phase.- *Phil. Trans. R. Soc., A 286, pp. 353-371.*
- DEBRAND-PASSARD S., ENAY R., RIOULT M., CARIOU E., MARCHAND D. et MENOT J.C. (1980).**- Le Jurassique supérieur.- *Mém. B.R.G.M. n° 101, pp. 195-253.*
- DECOMMER H. (1979).**- Etude palynologique du Crétacé inférieur et moyen des forages réalisés en Atlantique Nord-Est.- *D.E.A. Université des Sciences et Techniques de Lille.*

- DECOMMER H. (1981).**- Etude palynoplanctonique et cadre sédimentologique du Jurassique et du Crétacé du Nord de la France.- *Thèse 3ème cycle, Université des Sciences et Techniques de Lille, 2 Tomes.*
- DECOMMER H. et CHAMLEY H. (1981).**- Environnements mésozoïques du Nord de la France, d'après les données des argiles et du phytoplancton.- *C. R. Ac. Sc. Paris, D, 293, pp. 695-698.*
- DECONINCK J.F. et STRASSER A. (1987).**- Sedimentology, clay mineralogy and depositional environment of Purbeckian green marls.(Swiss and French Jura).- *Eclogae Geol. Helv., Vol. 80, n° 3, pp. 753-772.*
- DECONINCK J.F., STRASSER A., DEBRABANT P. (1988).**- Formation of illitic minerals at surface temperatures in Purbeckian sediments. (Lower Berrisian, Swiss and French Jura).- *Clays Minerals, 23, 91-103.*
- DEL COURT A. et SPRUMONT G. (1955).a-** Spores, grains de pollen, Hystrichosphères et Péridinies dans le Wealdien de Féron-Glageon.- *Ann. Soc. Géol. Nord, t. 79, pp. 29-64.*
- DEL COURT A.F. et SPRUMONT G. (1955).b-** Les spores et grains de pollen du Wealdien du Hainaut.- *Mém. Soc. belge Géol. Paléont. Hydrol., N.S., 4, 1.*
- DEL COURT A. et SPRUMONT G. (1957).a-** Quelques microfossiles du Wealdien de Féron-Glageon.- *Bull. Soc. Belge Géol., 66, n° 1, pp. 57-67.*
- DEL COURT A.F. et SPRUMONT G. (1957).b-** Présence d'Eucommiidites dans une coupe du Wealdien de Baudoir.- *Bull. Soc. belge Géol. Paléont. Hydrol., 65, 375.*
- DEL COURT A.F., DETTMAN M.E. et HUGHES N.F. (1963).**- Revision of some Lower Cretaceous Microspores from Belgium.- *Paleontology, 6, 282.*
- DELVIGNE J. (1965).**- Pédogenèse en zone tropicale.- *Mém. O.R.S.T.O.M., 1 vol., 178 p., Dunod, Paris.*
- DEPAPE G. (1961).**- Les flores wealdiennes d'Ortigosa (Espagne) et de Féron-Glageon (France). Comparaison.- *Ann. Soc. géol. Nord, t. LXXXI.*
- DIJKSTRA S.J. (1951).**- Wealden megaspores and their stratigraphical value.- *Meded. Geol. Sticht., N.S. V, 7.*

- DOLFUSS G.F. et FORTIN R. (19)**.- Note explicative to 1:80,000 geological map of France n° 31 (Rouen).- .
- DUNOYER de SEGONZAC G. et MILLOT G. (1962)**.- Pyrophyllite de diagenèse dans le Dévonien inférieur du synclinal de Laval (Massif Armoricaïn).- *C. R. Ac. Sc. Paris*, 255, pp. 3438-3440.
- DURAND B., ESPITALIE J., NICAISE G. et COMBAZ A. (1972)**.- Etude de la matière organique insoluble (kérogène) des argiles du Toarcien du Bassin de Paris : I. Etude par les procédés optiques, analyse élémentaire, étude en microscopie et microdiffraction électroniques.- *Rev. Inst. Fr. du Pétrole*, 27, 6, pp. 865-884.
- DUTERTRE A.P. (1923)**.- Note sur le Crétacé inférieur dans le Bas-Boulonnais.- *Ann. Soc. géol. Nord*, t. 48, pp. 35-74.
- ELMI S. (1962)**.- Stratigraphie du Lias supérieur du Sud-Ouest de l'île Créinieu (Jura méridional tabulaire).- *Coll. Jurassique, Luxembroug. C. R. et Mém. Inst. Grand-ducal, Sect. Sc. nat., phys. et math.*, pp. 567-575.
- ESPITALIE J., MARQUIS F., BARSONY J. (1984)**.- Geochemical logging.- Analytical Pyrolysis, K.S. Voorhees éd., Butterworth and Co (Publishers), 276-304.
- ESPITALIE J., DEROO G. et MARQUIS F. (1986)**.- La pyrolyse Rock-Eval et ses applications.- *Tiré à part de la Rev. Inst. Fr. du Pétrole*, Janvier-février 1986, Vol. 41, n° 1.
- ESPITALIE J., DURAND B., ROUSSEL J.C. et SOURON C. (1973)**.- Etude de la matière organique insoluble (kérogène) des argiles du Toarcien du Bassin de Paris : II. Etudes en spectrométrie infrarouge, en analyse thermique différentielle et en analyse thermogravimétrique.- *Rev. Inst. Fr. du Pétrole*, 28, 1, pp. 37-66.
- ESPITALIE J., LAPORTE J.L., MADEC M., MARQUIS F., LEPLAT P. et PAULET J. (1977)**.- Méthode rapide de caractérisation des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution.- *Rev. Inst. Fr. du Pétrole*, 32, 1, pp. 23-43.
- ESTEOULE J., ESTEOULE-CHOUX J. et LOUAIL J. (1969)**.- Sur la présence d'un dépôt de kaolinite et à gibbsite entre le Bajocien et le Cénomanién en Maine et Loire.- *C. R. Ac. Sc. Paris, D*, 271, pp. 1153-1156.
- ESTEOULE-CHOUX J. (1981)**.- Etude en microscopie électronique à balayage de quelques kaolins d'origines différentes ; apports de cette technique pour la compréhension de leurs genèses.- *Clay Minerals*, 16, 3, pp. 279-288.

- EVARSON K.C. et al. (1978).**- Alterations of micas and feldspars during Microbial Formation of Basic Ferric Sulfates in the Laboratory.- *Division 5-9. Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 42, pp. 518-524.
- FITTON W.H. (1824).**- Inquiries respecting the geological relations of the beds between the Chalk and the Purbeck Limestone in the south-east of England.- *Ann. Phil., N.S.*, VIII, 365, 458.
- FLEURY E. (1909).**- Le Sidérolithique suisse. Contribution à la connaissance des phénomènes d'altération superficielle des sédiments.- *Mem. Soc. Fribourgeoise Sci. Nat.*, 6, 260 p..
- FOSCOLOS A.F. et KODAMA H. (1981).**- Mineralogy and Chemistry of Arctic Desert Soils on Ellef Ringnes Island, Arctic Canada.- *Soil Science Society of America Journal*, vol. 45, n°5, sept.-oct. 1981.
- GAMERMANN N. (1979).**- Contribution à l'étude de la diagenèse des grès : couleur, rouge, argiles authigènes et induration. Formations d'Estrada Nova, de Rosario Do Sul et de Botucatu (Brésil) et Bundsandstein des Vosges (France).- *Univ. Louis Pasteur de Strasbourg. Inst. de Géologie. Mémoire n°59.*
- GERARD A. (1971).**- Apports de la gravimétrie à la connaissance de la tectonique profonde du Bassin de Paris.- *Bull. B.R.G.M. Section I*, n°2, pp75-88.
- GIRESE P. (1969).**- Etude des différents grains ferrugineux authigènes des sédiments sous-marins au large du delta de l'Ogooué (Gabon).- *Sciences de la Terre*, t. XIV, n°1, pp. 27-62. Nancy, mars 1969.
- GLASS H.D. (1958).**- Clay mineralogy of Pennsylvanian sediments in southern Illinois.- *Clays Clay Miner. (5th Nat. Conf., 1956)*, pp. 227-241.
- GLASS H.D., POTTER P.E. et SIEVER R. (1956).**- Clay mineralogy of some basal Pennsylvanian sandstones, clays and shales.- *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 40, pp. 750-754.
- GIRESE P. et ODIN G.S. (1973).**- Nature minéralogique et origine des glauconies du plateau continental du Gabon et du Congo.- *Sedimentology*, 20, pp. 457-488.
- GRAHAM L.W. et al (1985).**- Mesozoic and Cenozoic Dinoflagellates.- in *Plankton Stratigraphy. Cambridge University Press. Cambridge Earth Sciences Series, Chap. 18*, pp. 847-963.
- GRAVES L. (1847).**- Essai sur la topographie géognostique du département de l'Oise, Beauvais.- *Imp. A. Desjardins.*

- GREKOFF N. (1953).**- Sur l'utilisation des microfaunes d'Ostracodes dans la stratigraphie précise du passage Jurassique-Crétacé (Faciès continentaux).- *Revue Inst. Fr. Pétrole*, 8, 362.
- GRESSLY A. (1838).**- Observations géologiques sur le Jura Soleurois.- *Neue Denkschr. allg. Schweiz. Ges. ges. Naturw*, 2, pp. 1-112.
- GRIFFIN G.M. et INGRAM R.L. (1955).**- Clay minerals of the Reuse river estuary.- *Journ. Sedim. Petrol.*, 25, pp. 194-200.
- GRUNER J.W. (1935).**- The structural relationship of glauconite and mica.- *Amer. Min.*, 20, pp. 699-714.
- HAANSTRA V. (1963).**- A review of Mesozoic Geological History of the Netherlands.- *Verh. K. ned. geol.-mijnj. Genoot., geol. ser. 21-1 (Trans. Sub. Convention)*, 35,
- HABIB D. (1983).**- Dinoflagellate Age of Middle Jurassic-Early Cretaceous sediments in the Blake Bahama Basin.- *Initial Report D.S.D.P.*, 76, pp. 623-638
- HANG E. (1907).**- Traité de géologie.- *Armand Colin, Paris.*
- HARDER H. (1951).**- Über den Mineralestand und die Entstehung einiger sedimentären Eisenerze des Lias (gamma).- *Heidelberg. Beitr.*, 2, pp. 455-476.
- HERITIER F. et VILLEMIN J. (1971).**- Mise en évidence de la tectonique profonde du Bassin de Paris par l'exploration pétrolière.- *Bull. du B.R.G.M., section I, n° 2*, pp. 11-30.
- HERNGREEN G.F.W. (1970).**- Palynology of a Wealden Section (Lower Cretaceous) in the "Carrière de Longueville", the Boulonnais (France).- *Review of Paleobotany and palynology*, 12, pp. 271-302. Elsevier publishing Company, Amsterdam.
- HERNGREEN G.F.W. et al (1981).**- Cretaceous microfloral provinces.- *Pollen et spores*, Vol. XXIII, n° 3-4, pp. 441-555.
- HOLMS R.S. et HEARN W.E. (1942).**- Chemical and physical properties of some of the important alluvial soils of Mississippi drainage basin.- *US Dept. Agri. Tech. Bull.*, 833.
- HOLTZAPFFEL T. (1981).**- Minéralogie des argiles dans les roches anté-Crétacé supérieur d'Othrys (Grèce continentale).- *D. E. A., Lille*, 52 p..

- HOLTZAPFFEL T. (1985).**- Les minéraux argileux : préparation, analyse diffractométrique et détermination.- *Ann. Soc. géol. Nord, mém. 12, 136 p.*
- HOUAREAU C. (1974).**- Silicifications - Authigenèse feldspathique - Diagenèse carbonatée, argileuse et sulfatée. (Silicifications - Authigenesis - Carbonate, clay and sulphate diagenesis).- *Bull. Centre Rech. Pau - SNPA, 8, 1, pp. 405-435.*
- HOWER J. (1961).**- Some factors concerning the nature and origin of Glauconite.- *Amer. Min., 46, pp. 313-384.*
- HUGGETT J.M. (1984).**- Controls on minerals authigenesis in Coal Measures sandstones of the East Midlands, U.K.- *Clay Minerals, 19, 3, pp.343-357.*
- HUGHES N.F. (1955).**- Wealden plant microfossils.- *Geol. Mag., XCII, 201.*
- HUTCHINS P.F. (1963).**- The lower New Red Sandstone of the Crediton Valley.- *Geol. Mag. 100, pp. 107-264.*
- JAYARAMAN N. (1940).**- Altération of tremolite to talc in the dolomitic Marbles of Yellandu Warangal District (Hyderabad, Dn).- *Proc. Indian Acad. Sci., Sect., A, 12, pp. 65-71.*
- JOHNS W.D. et GRIM R.F. (1958).**- Clay mineral composition of recent sediments from the Mississippi River delta.- *Journ. Sedim. Petrol., 28, pp. 186-199.*
- JONGMANS W.S. et DIJKSTRA S.J. (1951).**- Some Wealden Plants from a boring in the Netherlands.- *Meded. geol. Sticht, N.S., n° 5*
- KANTOROWICZ J. (1984).**- Nature, origin and distribution of authigenic clay minerals from middle Jurassic Ravenscar and Brent Group sandstones.- *Clay Minerals, 19, 3, pp. 359-375.*
- KATZ R.S. (1983).**- Limitations of Rock-Eval pyrolysis for typing organic matter.- *Org. Geochem., 4, 3/4, pp. 195-199.*
- KELLER W.D. (1958).**- Argillation and direct bauxitisation in terms of concentrations of hydrogen and metal cations at surface of hydrolysing aluminium silicates.- *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 42, pp. 233-245.*
- KELLER W.D. (1976).**- Scan Electron Micrographs of kaolins collected from diverse environments of Grugin I, II.- *Clays Clay Miner, 24, 3, pp. 107-118.*

- KELLER W.D. (1988).**- Authigenic Kaolinite and Dickite Associated with Metal Sulfides. Probable Indicators of a Regional Thermal Event.- *Clays Clay Miner.*, 36, 2, pp. 153-158.
- KLEIN C. (1974).**- Massif Armoricaïn et Bassin Parisien.- *Ass. public. Univ. Strasbourg Fondation Baulig, XII*, 882 p+ cartes hors-texte.
- KUBLER B. (1966).**- La cristallinité de l'illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme.- *Coll. Neuchatel, Etages tectoniques*, pp. 105-122.
- KWAK Y.H. (1981).**- Etude géochimique de la région d'Artagnan-Osmets (Aquitaine sud, France). Evolution des séries, caractéristiques pétrologiques des formations, migration des hydrocarbures.- *Thèse, Université de Bordeaux, France*, 138 p..
- LAFOND R. (1961).**- Etude minéralogique des argiles actuelles du bassin de la Vilaine.- *C. R. Ac. Sc. Paris*, 252, pp. 3614-3616.
- LAKE R.D. (1975).**- The structure of the Weald. A review.- *Proc. Geol. Assoc.*, 86, pp. 549-557.
- LAKE R.D. et HOLLIDAY D.W. (1978).**- Purbeck Beds of the Broadoak Borehole, Sussex.- *Rep. Inst. Geol. Sci.*, 78/3, pp. 1-12.
- LAMIRAUX C. (1984).**- Gaz de France. D.E.T.N. Structure de Germigny-sous-Coulombs. Contribution à la connaissance géologique du réservoir R I wealdien.- *Institut Français du Pétrole. Direction de recherche "Géologie-Géochimie". Réf. Géologie* : 26-463.
- LAPPARENT A. (de) (1879).**- Le Pays de Bray.- *Mém. explic. Carte Géol. France, Paris*, 182 p..
- LAPPARENT J. (de) (1930).**- Les bauxites de la France méridionale.- *Mém. Carte Géol. Fr.*, 187 p.
- LARTER S.R. (1984).**- Application of analytical pyrolysis techniques to kerogen characterization and fossil fuel exploration / exploitation.- *Analytical Pyrolysis, ed. by J.S. Voorhees, Butter Worthand Co (Publishers)*, pp. 212-275.
- LEBLANC M., MARIEL O. et MOLINARD J.E. (1984).**- Modélisation du réservoir souterrain de Germigny-sous-Coulombs.- *Association Technique de l'Industrie du Gaz en France*.
- LEMOINE P. (1907).**- Sur la présence de fossiles marins dans le Néocomien du Pays de Bray.- *Bull. Soc. Amis Sci. Nat. Rouen, 1907*, pp. 129-132.

- LEOPOLD L.B. et WOLMAN M.G. (1957).**- River channel patterns ; braided, meandering and straight.- *U. S. Geol. Surv., Prof. Papers 282-B, pp. 39-85.*
- LERICHE M. (1928).**- Le terrain wealdien et les terrains tertiaires de l'Ardenne française.- *Bull. Soc. belge Géol. Paléont. Hydrol., 35, 68.*
- LEROY P. (1981).**- Contribution à l'étude de la sédimentation argileuse sur les marges de l'Océan Atlantique Nord depuis le Jurassique supérieur.- *Thèse 3e cycle, Lille, 134 p..*
- LETHIERS F. (1982).**- Les Ostracodes du Dévonien supérieur (Nord de la France, Belgique, Ouest du Canada).- *Thèse Etat, Lille, 489 p..*
- LEVET-CARETTE (1966).**- Microflore wealdienne provenant d'un puits naturel à la fosse Vieux-Condé (groupe de Valenciennes).- *Ann. Soc. Géol. Nord, t. 86, pp 153-176*
- LOMBARD A. (1956).**- Géologie sédimentaire. Les séries marines.- *Masson et Cie, Paris.*
- LORENZ (1980).**- Géologie des pays européens. France, Belgique, Luxembourg.- *Dunod Ed..*
- LUCAS J. (1962).**- La transformation des minéraux argileux dans la sédimentation. Etudes sur les argiles du Trias.- *Mém. Serv. Carte Géol. Als.-Lorr., 23, 202 p..*
- MAC CAMMON R.B. (1962).**- Efficiency of percentiles measures for describing the mean size and sorting of sedimentary particles.- *Journ. Geol., vol. 70, n° 4, pp. 453-465.*
- MAGNIEZ F., MEDIONI R., MEGNIEN C., AMEDRO F., DESTOMBES P., FAUVEL J., JUIGNET P., MANIVIT J., ROBASZYNSKY F. et SARNAY J. (1980).**- Le Crétacé inférieur.- *Mém. BRGM, n° 101, pp. 255-287.*
- MARLIERE R. (1933).**- Compte rendu de l'excursion conduite le 17 juin 1933 dans le Bassin crétacé de Mons.- *Bull. Soc. belge Géol. Paléont. Hydrol., 43, 177.*
- MARLIERE R. (1934).**- Argiles et sables wealdiens du Hainaut.- *Publ. Ass. Ing. Ec. Mines Mons, 1, n° 48.*
- MARLIERE R. (1946).**- Deltas wealdiens du Hainaut ; sables et graviers de Thien ; argiles réfractaires d'Hautrage.- *Bull. Soc. belge Géol. Paléont. Hydrol., 55, 69.*

- MARLIERE R. (1954).**- In Fourmarier, P. Prodrôme d'une description géologique de la Belgique.- *Soc. géol. Belge (Liège)*, 426.
- MARTIN P.I. (1828).**- A Geological Memoir on a part of Western Sussex.- *London*.
- MATHIEU M. (1963).**- Le Néocomien dans le Sud du Bassin Parisien.- *Colloque Crétacé inf., Lyon, sept. 1963. Mém. B.R.G.M., n° 34*, pp. 587-604.
- MEGNIEN Cl. (1971).**- Observations sur les ondulations tectoniques du Bassin de Paris et hypothèse sur une dislocation majeure du socle.- *Bull. B.R.G.M. Section 1, n° 2*, pp31-40.
- MEGNIEN Cl. et F. (1980).**- Synthèse géologique du Bassin de Paris. 3 vol.- *Mém. B.R.G.M., n° 101, 102, 103*.
- MELIERES F., DEROO G., HERBIN J.P. (1981).**- Organic-matter-rich and hypersiliceous Aptian sediment from western Mid-Pacific Mountains, Deep Sea Drilling Project Leg 62.- in Thiede J., Vallier T.L. et al, 1981, *Initial reports of the D.S.D.P., vol. LXII, Washington*, 903-921.
- MIDDLETON J. (1812).**- Outlines of the Mineral Strata of Great Britain.- *Monthly Mag., XXXIV*.
- MILLOT G. (1949).**- Relations entre la constitution et la genèse des roches sédimentaires argileuses.- *Thèse Sc. Nancy et Geol. Appl. Prospec. Min., 2, n° 2, 3, 4*, pp. 1-352.
- MILLOT G. (1964).**- Géologie des argiles. Altérations - Sédimentologie - Géochimie.- *Masson et Cie Ed., 120, Paris*.
- MILNE I.H. et EARLY J.W. (1958).**- Effect of source and environment on clays minerals.- *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 42*, pp. 328-338.
- MOORE R.C. (1949).**- Meaning of facies.- *Geol. Soc. Amer., Mem. 39*, pp. 1-34.
- MORIZET M., PINEL C. et SAVOYAT E. (1974).**- Recherches de site de stockages de Gaz au Sud-Est du Bassin de Paris.- *I.F.P. Division Géologie Réf. 22475*.
- NICOLAS J. et SAGON J.P. (1966).**- Altération en talc d'une diabase au Sud de Quintin (Côtes du Nord).- *Bull. Gr. Fr. des Argiles, t. XVIII, N.S., fasc. 14*, pp. 47-50.

- ODIN G.S. (1968).**- Glauconie, Glauconite et Phyllosilicates verts.- *Bull. Gr. Fr. Argiles*, t. XX, fasc. 1, pp. 11-12.
- ODIN G.S. (1971).**- Sur la genèse des glauconies et leur signification sédimentologique d'après l'étude détaillée du sondage du Mont Cassel (Nord).- *C. R. Ac. Sc. Paris*, 272, pp. 697-699.
- ORCEL J., HENIN S. et CAILLÈRE S. (1949).**- Sur les silicates phylliteux des minerais de fer oolithiques.- *C. R. Ac. Sc. Paris*, 229, pp. 134-135.
- OWENS H.G. (1971).**- The stratigraphy of the Gault in the Thames Estuary and its bearing on the Mesozoic tectonic history of the area.- *Proc. Geol. Assoc. London*, 82, pp. 187-208.
- PARHAM W.E. (1966).**- Lateral variations of clay mineral assemblages in modern and ancient sediments.- *Proc. Internat. Clay Conference, Jerusalem*, v. 1, pp. 135-145.
- PARIJS D. (1983).**- Etude structurale de l'anticlinal de La Chapelle-en-Vexin.- *Rapport IFP-ENSPM-GdF. I.F.P. Réf. 31053*.
- PARKER A. (1974).**- The clay mineralogy and some trace element contents of Speeton clay.- *Proc. of the Yorkshire Geological Society*, Vol. 40, Part. 2, n° 10, pp. 181-190
- PINCHEMEL Ph. (1954).**- Les plaines de la craie du Nord-Ouest de Bassin Parisien et du Sud-Est du Bassin de Londres et leurs bordures. Etudes géomorphologiques.- *Thèse, Paris, 1952, A. Colin 502 p.*
- PIRSON S.S. (1977).**- Geologie Well Log Analysis.- 2nd ed. *Gulf Publishing Co, Houston*.
- POMEROL C. (1963).**- Contribution à l'étude sédimentologique du Crétacé dans le Bassin de Paris, le Hainaut et le Sud de l'Angleterre.- *Mém. B.R.G.M.*, n° 34, pp. 605-622.
- POMEROL C. (1964).**- Répartition des minéraux lourds au Crétacé et à l'Eocène dans le Bassin de Paris, la Belgique et le Sud de l'Angleterre. Conséquences paléogéographiques.- *Comptes-rendus du XXIIème Congrès International, New Dehli, Part. 3*, pp. 144-157
- POMEROL Ch. (1977).**- Dynamique comparée de trois bassins épicontinentaux : Mer du Nord, Manche et Bassin de Paris.- *Bull. Cent. Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine* 1,1, pp. 233-256.

- PORRENGA D.H. (1967).**- Clay Mineralogy and Geochemistry of recent marine sediments in Tropical areas.- *Stolk. - Dordt, Amsterdam, 145 p., 43 fig., 4 pl.*
- POUSTOVALOV L.C. (1940).**- Pétrographie des roches sédimentaires I. .
- POWERS M.C. (1957).**- Adjustment of land derived clays to the marine environment.- *Journ. Sedim. Petrol., 27, pp. 355-372.*
- PRUVOST P. (1921-1922).**- Révision de la feuille de Boulogne au 1/80.000.- *Bull. Serv. Carte géol. France, C.R., coll. campagne 1921, t XXVI, n° 146, pp. 142-158.*
- RAT P., DAVID B., MAGNIEZ-JANIN F. et PERNET O. (1987).**- Le Golfe du Crétacé inférieur sur le Sud-Est du bassin parisien : Milieux (Echinides, Foraminifères) et évolution de la transgression .- *Mém. géologiques de l'Université de Dijon, n° 11, pp. 15-29.*
- RAWSON P.F. et al. (1978).**- A correlation of Cretaceous rocks in the British Isles.- *Geol. Soc. London, sp. Rep. n° 9.*
- ROBASZYNSKI F., DUPUIS Ch. et COLBEAUX J.P. (1981).**- De la Picardie au Boulonnais. Aspects de la couverture céno- et mésozoïque. Front varisque et soubassement paléozoïque. *Excursion de l'A.G.B.P., (9-11 Octobre 1981).*
- ROBERT C. (1982).**- Modalités de la sédimentation argileuse en relation avec l'histoire de l'Atlantique Sud.- *Thèse Etat, Aix-Marseille, 141 p..*
- RUSSEL R.S. (1954).**- Alluvial morphology of Anatolian rivers.- *Ann. Assoc. Am. Geogr., 44, pp. 363-391.*
- SAKAMOTO (1954).**- Zonal arrangement of residual clays.- *Journ. Fac. Sci. Imp. Univ. Tokyo, II, 9, pp. 301-324.*
- SALIK (1983).**- Contribution à l'étude sédimentologique et essai de corrélations diagraphiques au niveau des faciès wealdiens et du Barrémien.- *Diplôme Ing. E.N.S.P.M.-I.F.P. (non publié).*
- SCHLUMBERGER (1981).**- Dipmeter interpretation.- *Fundamentals, Vol. 1, 42 rue Saint-Dominique, 75340 PARIS, cédex 07.*
- SCHMIDT H. et WOLBURG J. (1949).**- Die stratigraphische Stellung des Purbeck in der südlichen Hilsmulde.- *Nachr. Akad. Wissensch. Göttingen (Math, Phys, Klasse), 19.*

- SCRUTON P.C. (1960).**- Delta building and the Deltaic sequence.- *In Shepard F.P., Phleger F.B. and Andel T.H. van, eds Recent sediments, northwest Gulf of Mexico, pp. 82-102, Tulsa. Oklahoma : American Association of Petroleum Geologists.*
- SEITZ O. (1949).**- Zur Paläogeographie des Wealden und der Pompeckjsschen Schwelle.- *Erdöl und Tektonik in Nordwestdeutschland. Amt. Bod., Hannover-Celle.*
- SELLEY R.C. (1970).**- Ancient Sedimentary environments.- *Chapman and Hall, London.*
- SELLWOOD B.W. et SLADEN C.P. (1981).**- Mesozoic and Tertiary argillaceous units : distribution and compositions.- *Q.J. eng. Geol. London, Vol. 14, pp. 1-12.*
- SERRA O. (1972).**- Diagraphies et stratigraphie.- *In Mém. B;R;G;M;, 77, pp. 775-832.*
- SERRA O. (1977).**- Méthode rapide d'analyse faciologique par diagraphies différées.- *SPWLA 5th Europ. Symp., Paris, Paper 9.*
- SERRA O. (1979).**- Well Evaluation Conference, Algeria.- *Services Techniques Schlumberger.*
- SERRA O. (1985).**- Diagraphies différées - bases de l'interprétation. Tome 2. Interprétation des données diagraphiques.- *Bull. Centre Rech. Explor. Prod. Elf Aquitaine, Mém. 7.*
- SERRA O. et ABBOTT H. (1980).**- The contribution of logging data to sedimentology and stratigraphy.- *55th Ann. Fall. Tech. Conf. SPE of AIME, Paper SPE 9270.*
- SLADEN C.P. (1983).**- Trends in Early Cretaceous clay mineralogy in NW Europe.- *Zitteliana, 10, pp. 349-357.*
- SLADEN C.P. et BATTEN D.S (1984).**- Source area environments of Late Jurassic and Early Cretaceous sediments in Southeast England.- *Proc. geol. Ass. 95/2, pp. 149-163.*
- SMOOT T.W. (1960a).**- Clay mineralogy of pre-Pennsylvanian sandstones and shales of the Illinois basin. Part I : Relation of permeability to clay mineral suites.- *Illinois State Geol. Surv., 286, 20 p..*
- SMOOT T.W. (1960b).**- Clay mineralogy of pre-Pennsylvanian sandstones and shales of the Illinois basin. Part III : Clay minerals of various facies of some Chester formations.- *Illinois State Geol. Surv., 293, 20 p..*

- SMOOT T.W. et NARAIN K. (1960).**- Clay mineralogy of pre-Pennsylvanian sandstones and shales of the Illinois basin. Part II : Relations between clay minerals suites of oil-bearing and non oil-bearing rocks.- *Illinois State Geol. Surv.*, 287, 14 p..
- SOURON C., BOULET L. et ESPITALIE J. (1974).**- Etude par Spectrométrie de Masse de la décomposition thermique sous vide des kérogènes appartenant à deux lignées évolutives distinctes.- *Rev. Inst. Fr. du Pétrole*, 29, 5, pp. 666-678.
- SPEARS D.A. and AMIN M.A. (1981).**- A Mineralogical and Geochemical Study of Turbidite Sandstones and Interbedded Shales, Mam Tor, Derbyshire, U.K.- *Clay Minerals.*, 16, pp. 333-345.
- STAMP L. et al. (1922).**- The Geology of Belgium.- *Proc. Geol. Ass.*, 33, 1.
- STEVENS C.H. et MARLIERE R. (1944).**- Révision de la carte du relief du socle paléozoïque du Bassin de Mons.- *Ann. Soc. géol. Belg.*, 67, 145.
- STRAKHOV N. (1947).**- *Trudy Inst. geol. Nauk, ser. geol. U. R. S. S.*, n° 22, 265 p., 162 fig., 27 t..-
- STRUCKMANN C. (1880).**- Die Wealdenbildungen der Umgegend von Hannover.- *Mann'sche Buchhandl (Hanover)*.
- SUNG G.C.L. (1955).**- The Wealden Formation in the Netherlands.- *Wld Petrol. Congr.*, Section 1/A/3, paper 1, 151.
- TAGGART M.S. jr et KAISER A.D. jr (1960).**- Clay mineralogy of Mississippi river deltaic sediments.- *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 71, pp. 521-530.
- TEICHERT C. (1958).**- Concept of facies.- *Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol.*, 42, pp. 2718-2744.
- THIRY M. (1981).**- Sedimentation continentale et altérations associées : calcitisations, ferruginisations et silifications. Les argiles plastiques du Sparnacien du Bassin de Paris.- *Thèse Univ. Louis Pasteur de Strashourg. Mémoire n° 64*.
- THOMAS H. (19).**- Note explicative to 1:80,000 geological map of France, N° 32 (Beauvais).- .
- THURELL et al. (1968).**- Geology of the country around Haslemere.- *Mem. Geol. Surv. G. B.*.

- TILLOY R. et DARDENNE M. (1960).**- Le gisement de Coulommès-Vanontois et le périmètre de Dammartin-en-Goëlle.- *Rev. Inst. Franç. Pétrole*, XV, n° 6, pp. 994-1003.
- TOWNSON W.G. (1975).**- Lithostratigraphy and deposition of the type Portlandian.- *J. Geol. Soc. London*, 131, pp. 619-638.
- TRASK P.D. (1930).**- Economic Geology.- *Vol.*, 25, pp. 581-599.
- UNGERER Ph. et DURAND B. (1987).**- La géochimie organique pétrolière.- *Bull. Soc. Géol. France*, 1987, (8), t. III, n° 7, pp. 1343-1356
- VAIL P.R., BILAL U. Haq. et HARDENBOL J. (1987).**- Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic.- *Science. Reprint series*, Vol. 235, pp. 1156-1167.
- VATAN (1938).**- Observations : 1° sur l'existence dans certaines argiles de sels alcalins solubles ; 2° sur la structure des sables argileux.- *C. R. Soc. Géol. Fr.*, 9, pp. 145-146.
- VISSER W.A. et SUNG G.C.L. (1956).**- Oil and Natural Gas in the North-Eastern Netherlands.- *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 40, 1067.
- WATERLOT B. et WATERLOT G. (1969).**- Carte géologique XXVII-7 : Avesnes à 1 / 50.000.- .
- WATERLOT G., BEUGNIES A. et GODFRIAUX Y. (1967).**- Carte géologique XXVIII-6 : Maubeuge à 1 / 50.000.- .
- WEBER C. (1973).**- Le socle antetriassique sous la partie sud du Bassin de Paris d'après les données géophysiques.- *Thèse, Paris. Bull. Bur. Rech. Géol. Min., Sect. 2, n° 3 et 4*, pp. 219-343.
- WHITEHOUSE U.G., JEFFREY L.M. et DEBBRECHT J.D. (1960).**- Differential steeling tendencies of clay minerals in saline waters .- *Clays and Clay Minerals, Proc, 7th Conf. Pergamon Press, New-York*, pp. 1-79.
- WICHER C.A. (1940).**- Zur stratigraphie der Grenzsichten Jura-Kreide Nordwestdeutschland.- *Oel u Kohle*, XXIX, 263.
- WILSON M.D. et PITTMAN E.D. (1977).**- Authigenic clays in sandstones : Recognition and influences on reservoir properties and paleoenvironmental analysis.- *J. sedim. Petrol.*, 47, 1, pp. 3-32.

- WOLBURG J. (1949b).**- Ergebnisse der Biostratigraphie nach Ostracoden im nordwestdeutschen Wealden.- *Erdöl u Tektonik in Nordwestdeutschland*, 349.
- WOLBURG J. (1950).**- Vergleichende stratigraphische Untersuchungen der brackischlimnischen Ablagerungen Europas am der Wende Jura-Kreide.- *Geol. Landesanst., Geol. Jb. f. 1943-1948, LXIV*, 159.
- WOLBURG J. (1954).**- Schwellen und Becken im Emsland. Tectogen mit einem paläogeographischen Abriss von Wealden und Unterkreide.- *Beih. geol. JI.*, 13, 3.
- WOLBURG J. (1959).**- Die Cryprideen des NW-deutschen Wealden.- *Senchenberg. leth.*, 40, 223.
- WOLLAST R. (1967).**- Kinetics of the alteration of K-feldspar in buffered solutions at low temperature.- *Geochim. Cosmochim. Acta*, 31, pp. 635-648.
- ZIEGLER (1978).**- Europe du Nord-Ouest : tectonique et évolution des bassins sédimentaires.- (A.J. von Loon Editeur). *Communications principales du MEGSII Amsterdam. Geol. Minjbouw*, 57, pp589-626.
- ZIEGLER P.A. (1975).**- The geological evolution of the North Sea area in the tectonic framework of North Western Europe.- *Norges geol. Unders.*, 316, pp. 1-27.
- ZIEGLER P.A. (1978).**- North Western Europe : Tectonics and Basin Development.- *Geol. Mijnbouw.*, 57, pp. 589-626.

ANONYMES

- Gaz de France - I.F.P. :** Structure du Pays de l'Ourcq. Stockage de Germigny-sous-Coulombs. Rapport de fin de sondage de Crouy n° 2 (CR2).- 28951, Mars 1981. *Gaz de France et I.F.P.; Paris, Rueil-Malmaison*
- Gaz de France - I.F.P. :** Structure du Pays de l'Ourcq. Stockage de Germigny-sous-Coulombs. Rapport de fin de sondage de Crouy n° 3 (CR3).- 28477, Octobre 1980. *Gaz de France et I.F.P.; Paris, Rueil-Malmaison*
- Gaz de France - I.F.P. :** Structure du Pays de l'Ourcq. Stockage de Germigny-sous-Coulombs. Rapport de fin de sondage de Crouy n° 7 (CR7).- 29655, Novembre 1981. *Gaz de France et I.F.P.; Paris, Rueil-Malmaison*
- Gaz de France - I.F.P. :** Structure du Pays de l'Ourcq. Stockage de Germigny-sous-Coulombs. Rapport de fin de sondage de Crouy n° 9 (CR9).- 30274, Juin 1982. *Gaz de France et I.F.P.; Paris, Rueil-Malmaison*

- Gaz de France - I.F.P.** : Structure du Pays de l'Ourcq. Stockage de Germigny-sous-Coulombs. Rapport de fin de sondage de Crouy n° 15 (CR15).- 30725, *Novembre 1982. Gaz de France et I.F.P.* ; Paris, Rueil-Malmaison
- Gaz de France - I.F.P.** : Structure du Pays de l'Ourcq. Stockage de Germigny-sous-Coulombs. Rapport de fin de sondage de Crouy n° 16 (CR16).- 30656, *Novembre 1982. Gaz de France et I.F.P.* ; Paris, Rueil-Malmaison
- Gaz de France - I.F.P.** : Structure de Vregny-en-Soissonnais. Rapport géologique de fin de sondage de Nanteuil-La-Fosse n° 1 (NF1).- 30465, *Août 1982. Gaz de France et I.F.P.* ; Paris, Rueil-Malmaison.
- Gaz de France - I.F.P.** : Structure de Vregny-en-Soissonnais. Rapport géologique de fin de sondage de Nanteuil-La-Fosse n° 2 (NF2).- 30397, *Juillet 1982. Gaz de France et I.F.P.* ; Paris, Rueil-Malmaison.
- Gaz de France : I.F.P.** : Structure de La Chapelle-en-Vexin. Rapport géologique de fin de sondage de Vn12.- 28630, *Novembre 1980. Gaz de France et I.F.P.* ; Paris, Rueil-Malmaison.
- Gaz de France - I.F.P.** : Structure de Saint-Maur. Stockage de Gournay-sur-Aronde. Rapport de fin de sondage de Saint-Maur n° 109 (SR109).- 27995, *Avril 1980. Gaz de France et I.F.P.* ; Paris, Rueil-Malmaison.
- Gaz de France - I.F.P.** : Structure de Saint-Maur. Stockage de Gournay-sur-Aronde. Rapport de fin de sondage de Saint-Maur n° 110 (SR110).- 29591, *Octobre 1981. Gaz de France et I.F.P.* ; Paris, Rueil-Malmaison.
- Gaz de France - I.F.P.** : Structure de Saint-Maur. Stockage de Gournay-sur-Aronde. Rapport de fin de sondage de Saint-Maur n° 115 (SR115).- 26593, *Décembre 1978. Gaz de France et I.F.P.* ; Paris, Rueil-Malmaison.
- Gaz de France - I.F.P.** : Structure de Saint-Maur. Stockage de Gournay-sur-Aronde. Rapport de fin de sondage de Saint-Maur n° 121 (SR121).- 29072, *Avril 1981. Gaz de France et I.F.P.* ; Paris, Rueil-Malmaison.
- Gaz de France - I.F.P.** : Structure de Saint-Maur. Stockage de Gournay-sur-Aronde. Rapport de fin de sondage de Saint-Maur n° 122 (SR122).- 26765, *Février 1979. Gaz de France et I.F.P.* ; Paris, Rueil-Malmaison.
- Gaz de France - I.F.P.** : Structure de Saint-Maur. Stockage de Gournay-sur-Aronde. Rapport de fin de sondage de Saint-Maur n° 124 (SR124).- 29070, *Avril 1981. Gaz de France et I.F.P.* ; Paris, Rueil-Malmaison.

Gaz de France - I.F.P. : Structure de Saint-Maur. Stockage de Gournay-sur-Aronde.
Rapport de fin de sondage de Saint-Maur n° 141 (SR141).- 29496, *Octobre 1981.*
Gaz de France et I.F.P. ; Paris, Rueil-Malmaison.

Gaz de France - I.F.P. : Structure de Saint-Maur. Stockage de Gournay-sur-Aronde.
Rapport de fin de sondage de Saint-Maur n° 180 (SR180).- 28311, *Août 1980.* *Gaz*
de France et I.F.P. ; Paris, Rueil-Malmaison.

Gaz de France - I.F.P. : Structure de Saint-Maur. Stockage de Gournay-sur-Aronde.
Rapport de fin de sondage de Saint-Maur n° 181 (SR181).- 29497, *Octobre 1981.*
Gaz de France et I.F.P. ; Paris, Rueil-Malmaison.

Gaz de France - I.F.P. : Synthèse des données géologiques et pétrophysiques du
Barrémien et du Wealdien de la structure anticlinale de Saint-Maur/Oise (Gournay-
sur-Aronde).- 27754, *Février 1980.* *Gaz de France et I.F.P.* ; Paris, Rueil-
Malmaison.

Gaz de France - Synthèse des données géologiques sur le réservoir wealdien de Gournay-
sur-Aronde. LM1CC.- G50169, *Février 1981.* *Gaz de France, Paris.*

Gaz de France - I.F.P. - Granulométrie du sable sur le puits de SR126.- 27420, *Octobre*
1979. *Gaz de France et I.F.P.* ; Paris, Rueil-Malmaison.

I.F.P.. Stockages souterrains de gaz. Recherche de structures dans la partie SW du Bassin
Parisien.- 12908. *Janvier 1966.* *Rueil-Malmaison.*

I.F.P.. Recherches de sites de stockage de gaz au Nord-Est du Bassin de Paris.- 20167.
Mars 1972. *Rueil-Malmaison..*

I.F.P.. Recherches de sites de stockage de gaz au Sud-Est du Bassin de Paris.- 22475. *Août*
1974. *Rueil-Malmaison.*

I.F.P.. Révision des possibilités de stockage de gaz dans le Bassin Parisien.- 24307-A.
Juillet 1976. *Rueil-Malmaison.*

I.F.P.. Gaz de France. Possibilités de stockage de gaz dans le Bassin Parisien. Révision et
complément.- 25353. *Août 1977.* *Rueil-Malmaison.*

