

Sédimentologie de la matière organique et des argiles du Kimméridgien de Normandie (région du Havre)*

Maria SAINT-GERMES ⁽¹⁾
François BAUDIN ⁽¹⁾
Jean-François DECONINCK ⁽²⁾
Pierre HANTZPERGUE ⁽³⁾
Yann SAMSON ⁽¹⁾

Sedimentology of organic matter and clay mineralogy in the Kimmeridgian of Normandy (Le Havre area)

Géologie de la France, n° 3, 1996, pp. 21-33, 10 fig., 1 tabl.

Mots-clés : Matière organique, Minéraux argileux, Argile, Calcaire, Kimméridgien, Seine-Maritime.

Key Words: Organic materials, Clay minerals, Clay, Limestone, Kimmeridgian, Seine Maritime.

Résumé

De nouvelles données géochimiques et minéralogiques des sédiments kimméridgiens affleurant au nord du Havre sont présentées. Les teneurs en carbone organique sont faibles (< 0,5 %) dans les marnes et calcaires du Kimméridgien inférieur (zones à Baylei et Cymodoce) et augmentent significativement (1 à 7 %) dans les argiles du Kimméridgien supérieur (zones à Mutabilis et Eudoxus) où la matière organique marine est relativement bien préservée. Trois épisodes d'enrichissement en carbone organique se distinguent dans les argiles du Kimméridgien supérieur, deux d'entre eux étant corrélés à l'échelle de la plateforme nord-ouest européenne. Les assemblages argileux, constitués principalement d'illite, de kaolinite et de smectite, ne présentent pas de relation stricte ni avec la lithologie ni avec le type ou la teneur en matière organique. Les changements dans la minéralogie des argiles soulignent surtout l'influence des variations relative de la tranche d'eau et d'une tectonique active à la limite Kimméridgien inférieur/supérieur. Une comparaison des formations datées de la zone à Eudoxus en Normandie et dans le

Boulonnais permet de dégager les similitudes et les différences entre ces deux régions du Bassin de Paris.

Abridged English Version

Introduction

In the northwestern part of the Paris Basin, the Kimmeridgian sediments are exposed along coastal cliffs especially in Boulonnais and Normandy (Fig. 1). The Boulonnais outcrops were recently revisited (Geyssant et al., 1993; Herbin et al., 1995; Proust et al., 1993, 1995), although the base of the Kimmeridgian (Baylei, Cymodoce and Mutabilis zones) is missing. These ammonite zones are however, clearly exposed in Normandy, as revealed by the recent revision of the litho- and biostratigraphy of this region (Samson et al., 1996; Fig. 2). Here we present the organic geochemistry and clay mineralogy contributions to this multidisciplinary study of the Kimmeridgian in Normandy. Analytical methods include microfacies examination, calcimetry, X-ray diffraction, Rock-eval and Leco analyses.

Description of the formations and their main microfacies

Five formations are recognized as follows (Fig. 2 and table):

1 - The "Calcaires coquilliers" (1 to 2 m, Baylei Zone), consisting mainly of bioterrital limestones (wackestones to packstones) and gray silty marlstones.

2 - The "Argiles à *Deltoideum delta*" (4 to 6 m, poorly exposed and related to the Baylei Zone) consisting of intensely bioturbated grayish to brownish claystones.

3 - The "Bancs de Plomb" (1 to 2.5 m, Cymodoce Zone) comprising two thick micritic limestone beds, intensely burrowed, separated by a claystone interbed in which decimetre-long wood fragments are common.

4 - The "Marnes de Bléville" (6 to 12 m, Cymodoce Zone) which is subdivided into three members. The lower member comprises alternations of micritic limestones and marlstones; a specific sandy bed is intercalated at the base of this member. The middle part corresponds to the so-called "Calcaires à Har-

* Manuscrit reçu le 2 octobre 1995, accepté définitivement le 25 mars 1996.

(1) CNRS-URA 1761 et UPMC, Département de Géologie Sédimentaire, Case 117, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05.

(2) Université Lille I et CNRS-URA 719, Laboratoire de Sédimentologie et Géodynamique, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex 5.

(3) Université Claude Bernard, 27-43 boulevard du 11 novembre, 69622 Villeurbanne Cedex.

pagodes", an undulating limestone unit with abundant gastropods. The upper member is poorly exposed and corresponds to marlstones. The uppermost bed is very similar to the "Banques de Plomb" and marks the boundary between lower and upper Kimmeridgian.

5 - The "Argiles d'Octeville" (34 m, *Mutabilis* and *Eudoxus ammonite* zones) are subdivided into 5 newly created members (Samson et al., 1996). The "Argiles du Croquet inférieures" are mainly of sandy claystones and pale-gray claystones, separated from the gray claystones of the "Argiles du Croquet supérieures" by a nodular bivalve-rich bed. Both are related to the *Mutabilis* sub-zone. The "Argiles d'Ecqueville inférieures" (*Lallierianum* sub-zone) and the "Argiles d'Ecqueville médianes" (*Orthocera* sub-zone) consist of gray to black claystones; a *Nanogyra*-rich bed is located at the top of the latter member. The "Argiles d'Ecqueville supérieures" (*Caletanum* and *Contejeani* sub-zones) are dominated by laminated black claystones.

Geochemical results and interpretation

Analysis of the organic matter reveals a low concentration of organic carbon (< 0.5%) in the Lower Kimmeridgian deposits (*Baylei* and *Cymodoce* zones, Fig. 3), whereas the Total Organic Carbon (TOC) content varies between 1 and 7% in the Upper Kimmeridgian sediments (*Mutabilis* and *Eudoxus* zones, Fig. 6). The hydrogen index (HI) values indicate a recycled terrigenous material in the lower Kimmeridgian marls and limestones, whereas more-or-less oxidized marine organic matter is dominant in the upper Kimmeridgian black shales (Fig. 4).

The varieties of facies with sedimentation breaks and evidence of storms, as well as the faunal diversity of the lower Kimmeridgian deposits, indicate shallow-water marine environments with a good renewal of oxygen in the bottom waters. Such conditions are unsuitable to the preservation of organic matter, which explains the low organic content detected. A rapid deepening (probably tectonically controlled) is recorded in the upper Kimmeridgian deposits where

claystones with pelagic fauna are predominant. Such deeper environments were more suitable to the preservation of marine organic matter because of the increase of primary productivity related to the transgressive phase and the low oxygen diffusion in the claystones. This is attested by the organic richness of the "Argiles d'Octeville" with its good petroleum potential.

Three organic enrichments are recognized within the "Argiles d'Octeville" (*Mutabilis* and *Eudoxus* zones), two of them are correlated with "organic belts" defined in distal environments from Yorkshire and Dorset (Herbin and Geyssant, 1993; Herbin et al., 1995). An older "organic belt" can be recognized in the *Mutabilis* Zone from Normandy, as previously suggested by Baudin (1992).

Clay mineralogy and interpretation

The clay mineral assemblages consist mainly of various proportions of illite, smectite and kaolinite occurring together with small amounts of chlorite and random illite/smectite mixed layers (Figs. 5 and 9). The clay assemblages depend neither on the lithology nor on the abundance or type of organic matter. A comparison between the clay mineralogy and sequence stratigraphy shows that major changes, corresponding to changes from illite- and kaolinite-rich sediments to smectite-rich sediments, coincide with downward shifts in sea-level. This is particularly well expressed in the "Marnes de Bléville" (*Cymodoce* Zone, Fig. 5). This smectite-rich sedimentation within shallow environments is attributed to the recycling of pedogenic smectites produced on land areas exposed after a sea level drop.

Comparison between Normandy and Boulonnais (Fig. 10)

A similar trend in clay mineralogy was recognized at the *Orthocera*/*Caletanum* sub-zones boundary in the Boulonnais outcrops (Deconinck et al., 1983; Proust et al., 1993) and related to a tectonic event. Nevertheless, the coeval sediments from Normandy do not show such evolution of the clay assemblages. Either the tectonic event is diachronous or two tectonic events (*Cymodoce*/*Muta-*

bilis and *Orthocera*/*Caletanum* boundaries) affected the northwestern part of the Paris Basin; the *Orthocera* sub-zone event, not being recorded in Normandy.

The late Kimmeridgian in Normandy provided suitable condition for the expression of the "organic belts" whereas the proximal environments from Boulonnais hindered the expression of the organic enrichment.

Conclusions

A synthetic distribution of the clay minerals and organic matter of the northwestern part of the Paris Basin is now available for the Kimmeridgian using both Boulonnais and Normandy sections. A sharp change from illite- and kaolinite-rich sediments to smectite-rich sediments is shown in the "Marnes de Bléville" (*Cymodoce* Zone) and three "organic belts" are recognized in the "Argiles d'Octeville" (upper Kimmeridgian) from Normandy.

Introduction

Dans la partie nord-ouest du Bassin de Paris, les formations du Jurassique supérieur affleurent en falaises littorales, en particulier dans le Boulonnais et en Haute-Normandie (fig. 1). Les séries du Kimméridgien/Tithonien du Boulonnais ont fait récemment l'objet d'études biostratigraphiques, sédimentologiques, minéralogiques et géochimiques (Proust et al., 1993; Geyssant et al., 1993; Herbin et al., 1995; Proust et al., 1995). Malheureusement, la base du Kimméridgien n'est plus visible dans cette région. Elle l'est, en revanche, le long du littoral normand au nord du Havre, entre le Cap de la Hève et La Brière (fig. 1). L'étude de la succession normande permet donc de compléter vers le bas les observations faites dans le Boulonnais, et d'obtenir des données sur l'ensemble du Kimméridgien du Nord-Ouest du Bassin de Paris.

Après un lever minutieux des coupes et l'analyse des faciès et microfaciès, les teneurs en CaCO₃ ont été déterminées par manocalcimétrie sur plus de 140 échantillons. Leur contenu en matière organique a été étudié par pyrolyse Rock-eval (Espitalié et al., 1985-86),

leurs teneurs en soufre total et en carbone total ont été obtenues grâce à un doseur C-S Leco. Ces analyses complètent les données préliminaires de F. Baudin (1992). Par ailleurs, les assemblages de minéraux argileux ont été déterminés par diffraction des rayons X sur préparations orientées selon la méthode décrite en détail par T. Holtzapffel (1985).

Biostratigraphie du Kimméridgien de Haute-Normandie

Les études biostratigraphiques des formations du Kimméridgien normand initiées par A. Dollfus (1863), G. Leunier (1867) et A. Tornquist (1896) ont été précisées par M. Rioult (1961, 1980) et J. Guyader (1968). Plus récemment la biostratigraphie des ammonites des coupes étudiées par J. Guyader a été révisée et comparée à celle du Dorset (Hantzpergue, 1989).

Au cours de trois dernières années, de nouvelles collectes d'ammonites ont été effectuées permettant de préciser l'âge de certaines formations et d'établir la biostratigraphie détaillée de Kimméridgien de la région havraise (Samson *et al.*, 1996).

Quatre des zones d'ammonites du Kimméridgien (Baylei, Cymodoce, Mutabilis et Eudoxus; Groupe français d'étude du Jurassique, 1991) sont ainsi reconnues (tabl. 1). La zone à Autissiodorensis, dernière du Kimméridgien, n'a pu être mise en évidence, probablement à cause de l'érosion qui a affecté l'ensemble de la région entre le Tithonien et l'Aptien (Breton, 1981).

A cause d'une légère discordance angulaire entre le Crétacé et le Kimméridgien, aucune coupe ne présente la série complète, mais le faible pendage vers le nord des formations kimméridgiennes permet en se déplaçant du Cap de la Hève vers la Brière de reconstituer l'ensemble de la série stratigraphique.

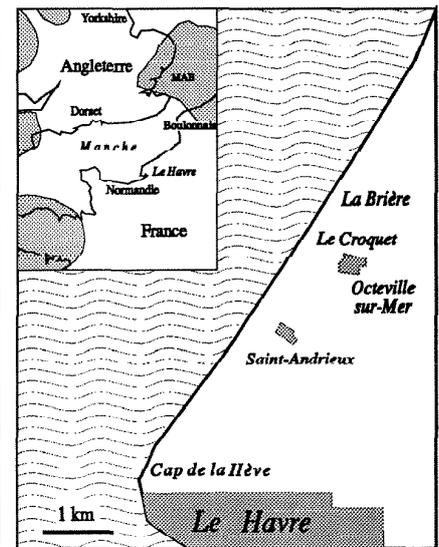


Fig. 1. Carte de la région étudiée. En cartouche, principales régions citées dans le texte (les zones en pointillés représentent l'extension des terres émergées au Kimméridgien d'après F. Cecca *et al.*, 1993. MAB - Massif Anglo-Brabant).

Fig. 1. - Location map of the studied area. The inset figure shows the main regions cited in text (dotted area corresponds to emerged land during the Kimmeridgian, after Cecca *et al.*, 1993 - MAB English-Brabant Massif).

	Zone	Sous-zone	Horizon	Formation		Caractéristiques lithologiques	Caractéristiques faunistiques	Microfaciès observés	
				Membre					
KIMMÉRIDIEN SUPÉRIEUR	EUDOXUS	Contejeani	Contejeani	ARGILES DOCTEVILLE	SUPÉRIEUR	Argiles noires feuilletées, alternant au sommet avec des argiles brunâtres	Peu fossilifères (rares petits bivalves)		
		Caletanum	Caletanum		MÉDIAN	Argiles noires compactes débutant et se terminant par une lumachelle à nanogyres	Peu fossilifères sauf les niveaux de lumachelle		
		Orthocera	Orthocera		INFÉRIEUR	Argiles grises à noires s'achevant par un banc de calcaire à vertabrés	Contiennent plusieurs niveaux à bivalves et lits d'ammonites	wackestone argileux bioclastique à débris de bivalves, d'échinodermes, d'écailles de poissons et des algues. Contient petits débris de bois	
	MUTABILIS	Lallierian.	Schilleri	ARGILES DU CROQUET	SUPÉRIEUR	Argiles noires souvent compactes débutant par le Banc Modulaire à Bivalves	Peu fossilifères dans la masse. Contiennent quelques niveaux à nombreux bivalves (nanogyres etc.) et lits d'ammonites		
		Mutabilis	Lallierianum		INFÉRIEUR	Argiles grises débutant par une lumachelle à N. virgula à matrice sableuse et glauconieuse.	Peu fossilifères Contiennent petits bivalves		
			Linealis						
KIMMÉRIDIEN INFÉRIEUR	CYMODOCE	Pseudoemela		MARNES DE BLEVILLE	SUPÉRIEUR	Argiles grises, calcaires marneux noduleux. Se terminent par un banc de calcaire bioturbé à surface durcie, érodée et perforée	Les argiles contiennent petits bivalves	wackestone / packstone bioturbé (banc terminal) bioclastique (foram., ostrac., échinod., bivalves.) Bioclastes rarement encroûtés. Qs - 2-3%	
					MÉDIAN: CALCAIRES à Harpagodes		Calcaires sableux noduleux très bioturbés	Très fossilifères. Gastropodes (Harpagodes, Epeudomelania), bivalves (Plectambonites, Loph. solitaria etc.), oursins (Rhabdocidaris orbignyana), nautilus	wack. - wack. packstones bioturbés, bioclastiques (bivalves, échinod., annélides, foram.), bioclastes souvent encroûtés. Rares oncolites aplatis. Dans le dernier banc la glauconie est abondante
					INFÉRIEUR	Alternance d'argiles azoïques et de calcaires micritiques à passées gréseuses. Commence par un banc remanié sur place à galets verdâtres, perforés	Azoïque sauf quelques lits de serpules et niveau à nanogyres à la base	nodstones fine, bioturbés avec débris d'échinodermes bivalves, serpules plus enrichis en Qs vers le sommet. Très grand écroûtement à lamination oblique	
	BAYLEI			ARGILES à Deltaïdeum Delta	SUPÉRIEUR	Deux bancs de calcaires gris, micritiques, bioturbés. La surface de chaque banc est bosselée et perforée	Au sommet de chaque banc se développe localement Zeilleria kimmeridgiensis Argiles intercalaires à D. delta et nanogyres	nodstones/wackestones bioturbés, bioclastiques (échinodermes, gastropodes, ostracodes, foram., rares bivalves) petits débris de bois	
					INFÉRIEUR	Argiles plastiques grises bioturbées	Moules internes de petits bivalves, plusieurs lits d'Ostracodes (D. delta) bien conservées (valves souvent accolées)		
				CALCAIRES COQUILLIERS	Alternance de trois bancs de calcaires biocritiques gréseux, bioturbés et de marnes grises sableuses	Très fossilifères. Macrofaune dominée par les bivalves (Gervillella kimmeridgiensis, Arigonis papillata), un nautilus (Paraceraseras giganteum) se rencontre fréquemment	wackestones/packstones - packstones bioclastiques contenant de rares grains phosphatés. Bioclastes divers (bivalves, foram., brachiop., ostrac.) encroûtés		

Tabl. 1. - Tableau synthétique des caractéristiques lithologiques, faunistiques et faciologiques des différentes formations du Kimméridgien de Normandie.

Table 1. - Main lithological, faunal and facies characteristics of the Kimmeridgian formations of Normandy.

Faciès et microfaciès des coupes étudiées

La série sédimentaire du Kimméridgien normand, constituée d'une alternance de dépôts argileux et carbonatés, est subdivisée en cinq formations (fig. 2, Samson *et al.*, 1996). On distingue de bas en haut :

1 - Les Calcaires coquilliers (1 à 2 m, zone à Baylei) sont constitués à la base d'un banc décimétrique de calcaire gréseux à grains phosphatés, parfois dénommé Calcaire coquillier inférieur, surmonté par l'alternance de marnes grises sableuses et de deux bancs calcaires bio-

détritiques pyriteux, appelés Calcaire coquillier supérieur. Le banc de base présente une texture wackestone/packstone et contient divers bioclastes écrasés (tabl. 1). Les deux bancs calcaires du sommet prennent souvent un aspect lumachelique à la partie supérieure. Ce sont des packstones/grainstones bioclastiques.

2 - Les Argiles à *Delloideum delta* (4 à 6 m, zone à Baylei ?), grises brunâtres, sont plus ou moins pyriteuses et bioturbées. Les rares petits bancs de calcaire qu'elles renferment correspondent à des mudstones fins, bioturbés mais dépourvus de faune.

3 - Les Bancs de Plomb (1 à 2,5 m, zone à Cymodoce) se présentent comme deux bancs massifs de calcaire micritique, séparés par des argiles bioturbées contenant des fragments de bois. La surface supérieure de chaque banc et particulièrement du Banc de Plomb supérieur est bosselée, bioturbée et creusée de nombreux terriers. Ces deux bancs sont surmontés par un banc de calcaire, moins épais, souvent démantelé en galets perforés et verdis, que nous rattachons à cette formation. Les microfaciès des Bancs de Plomb sont des mudstones/wackestones bioturbés, bioclastiques dans lesquels on observe également des petits débris de bois (tabl. 1)

4 - Les Marnes de Bléville (6 à 12 m, zone à Cymodoce) sont subdivisées en trois membres informels : Marnes de Bléville inférieures et Marnes de Bléville supérieures, encadrant un membre médian, distingué sous le nom de Calcaires à *Harpagodes*.

Les Marnes de Bléville inférieures présentent une alternance d'argiles grises azoïques et de calcaires biomicritiques, contenant vers le milieu un banc gréseux et quelques niveaux sableux à serpules. Les microfaciès des bancs indurés sont généralement des mudstones fins, bioturbés (tabl. 1). Vers le sommet de la série, on observe un très léger enrichissement en quartz (1-2 %, estimation visuelle). Le dernier banc des Marnes de Bléville inférieures est un mudstone/wackestone bioturbé à débris de bivalves, serpules et échinodermes. Les bioclastes sont parfois encroûtés d'oxyde de fer. Les bancs de grès granodécroissants présentent des laminations obliques. Ils peuvent se trouver dans un mudstone ou former des bancs distincts. Ces niveaux contiennent parfois de très nombreuses serpules.

Les Calcaires à *Harpagodes* sont des calcaires sableux et nodulux très fossilifères et fortement bioturbés. Ils renferment de rares oolites et de petites oncolites et selon J. Guyader (1968) seraient recoupés au sommet par une surface durcie, bioturbée par des organismes fouisseurs. Les microfaciès des Calcaires à *Harpagodes* correspondent à des wackestones/packstones bioturbés, bioclastiques (tabl. 1), contenant 2 à 3 % de quartz (< 0,2 mm). Dans les bancs infé-

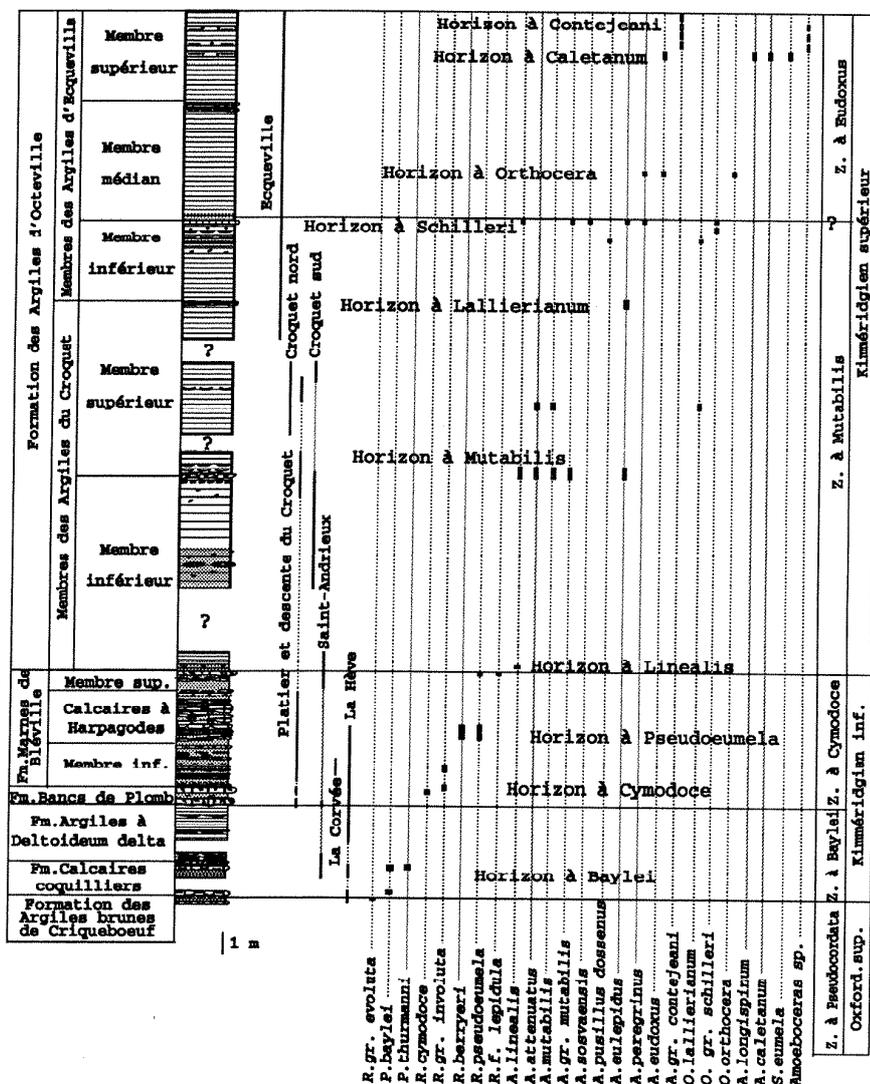


Fig. 2. - Coupe lithostratigraphique synthétique du Kimméridgien normand et répartition des ammonites (d'après Samson *et al.*, 1996).

Fig. 2. - Composite lithostratigraphic section of the Kimmeridgian in Normandy and distribution of ammonites (after Samson *et al.*, 1996).

rieurs des Calcaires à *Harpagodes* certains bioclastes sont encroûtés ; ce phénomène se généralise vers le haut. Dans le banc sommital des Calcaires à *Harpagodes* la glauconie est assez abondante, en remplissage de coquilles ou sous forme de grains indépendants.

Les Marnes de Bléville supérieures sont composées d'argiles grises à nanogyres et de calcaires marneux noduleux (tabl. 1). La formation se termine par un banc de calcaire micritique, bioturbé, à surface durcie érodée et perforée. C'est un wackestone/packstone bioturbé, bioclastique (fortement recristallisé et oxydé). Le quartz fin (< 0,2 mm) représente 2 à 3 %, les bioclastes sont rarement encroûtés par des oxydes de fer.

5 - Les Argiles d'Octeville (épaisseur variable, jusqu'à 35 m, zones à Mutabilis et à Eudoxus). formation couvrant l'ensemble des dépôts kimméridgiens supérieurs de Normandie. Elle est subdivisée nouvellement par Y. Samson *et al.* (1996) en cinq membres sur la base de leurs caractéristiques lithologiques et leur contenu faunistique : Argiles du Croquet inférieures et supérieures, Argiles d'Ecqueville inférieures, médianes et supérieures

Les Argiles du Croquet inférieures (zone et sous-zone à Mutabilis, horizon à Linealis) débutent par une lumachelle à nanogyres à matrice argilo-sableuse et glauconieuse, contenant des débris phosphatés et de la pyrite. La formation se poursuit par des argiles grises à noires, contenant quelques niveaux de lumachelle à nanogyres et un niveau de calcaire noduleux à septarias.

Les Argiles du Croquet supérieures (zone, sous-zone et horizon à Mutabilis) commencent au-dessus du Banc Noduleux à Bivalves (Samson *et al.*, 1996). Ce sont des argiles noires souvent compactes contenant quelques couches sableuses à plaquettes pyriteuses et plusieurs lits d'ammonites. Ces argiles se terminent par un doublet de bancs calcaires gris.

Les Argiles d'Ecqueville inférieures (zone à Mutabilis, sous-zone à Lallierianum, horizon à Lallierianum et à Schilleri) débutent au-dessus du doublet de bancs calcaires. La partie inférieure de

ce membre contient les Couches à *Orthaspidoceras lallierianum*. Dans la partie sommitale, les argiles noires contiennent plusieurs lits d'ammonites. Ces argiles se terminent par un banc de calcaire marneux à restes de dinosauriens (Galton et Boiné, 1980). C'est un wackestone/packstones argileux contenant des bioclastes (tabl. 1) bien préservés, ainsi que des écailles de poisson.

Les Argiles d'Ecqueville médianes (zone à Eudoxus, sous-zone et horizon à Orthocera) débutent localement par un niveau lumachellique ou par des argiles durcies à nanogyres et nombreuses ammonites écrasées à test nacré. Elles se poursuivent par des argiles noires compactes et se terminent par deux niveaux lumachelliques.

Les Argiles d'Ecqueville supérieures (zone à Eudoxus, sous-zones et horizons à Caletanum et à Contejeani) correspondent à des argiles noires feuilletées alternant au sommet avec des argiles brunnâtres à petits bivalves pyriteux.

Résultats des analyses géochimiques et minéralogiques

Kimméridgien inférieur

Teneurs en carbonate et caractérisation de la matière organique

Les carbonates sont dominants dans les formations du Kimméridgien inférieur avec des pourcentages variant entre 63 et 87 % pour les bancs calcaires et atteignant un maximum 60 % pour les niveaux "argileux" au sein des Argiles à *Deltoideum delta* (fig. 3).

On observe en outre une augmentation relative du pourcentage de carbonate dans les calcaires et les argiles au sommet des Marnes de Bléville inférieures et vers le sommet des Marnes de Bléville supérieures.

Les teneurs en carbone organique total (COT) sont très faibles, généralement de l'ordre de 0,3 %, dans l'ensemble des faciès étudiés ; elles ne dépassent pas 0,8 %. Les indices d'hydrogène (IH) sont également faibles

(6-83 mg HC/g COT) alors que ceux d'oxygène (IO) sont très élevés (jusqu'à 668 mg CO₂/g COT) et peu significatifs pour ces formations carbonatées pauvres en carbone organique (Espitalié *et al.*, 1985-86). Sur le diagramme IH-IO (fig. 4) tous les échantillons du Kimméridgien inférieur se situent dans le domaine des matières organiques altérées. Par conséquent, il n'est pas possible de déterminer leur origine par pyrolyse Rock-eval.

Les teneurs en soufre total sont généralement inférieures à 2 % (fig. 3), sauf dans un banc gréseux où une valeur de 5,17 % est liée à la présence de pyrite.

Minéralogie des argiles

Les cortèges minéralogiques argileux sont formés essentiellement d'illite, de kaolinite, d'interstratifiés irréguliers illite/smectite et de smectite (fig. 5). La chlorite est présente en faible quantité et ne dépasse pas 10 %. Les assemblages sont comparables à ceux identifiés dans le Kimméridgien du Boulonnais (Deconinck *et al.*, 1983).

Comme dans les sédiments du Boulonnais, la minéralogie des argiles sur l'ensemble de la série est indépendante de la lithologie et des faciès, ce qui suggère une origine détritique des argiles (Deconinck *et al.*, 1983 ; Chamley, 1989). La présence de smectite en quantité relativement importante, atteignant 70 %, montre que l'influence d'une diagenèse d'enfouissement est négligeable dans les formations du Kimméridgien normand.

Des Calcaires coquilliers aux Bancs de Plomb, les sédiments se caractérisent par des fortes teneurs en illite (50-60 %) associées à la kaolinite (20-30 %) et aux interstratifiés irréguliers illite/smectite (10-20 %). La smectite fait son apparition dans les Marnes de Bléville inférieures (fig. 5). Sa proportion augmente rapidement aux dépens de l'illite et surtout de la kaolinite. Au sommet des Marnes de Bléville, les smectites deviennent dominantes (60-70 %), tandis que les teneurs relatives en illite et en kaolinite tombent respectivement à 20-25 % et à 5-10 %.

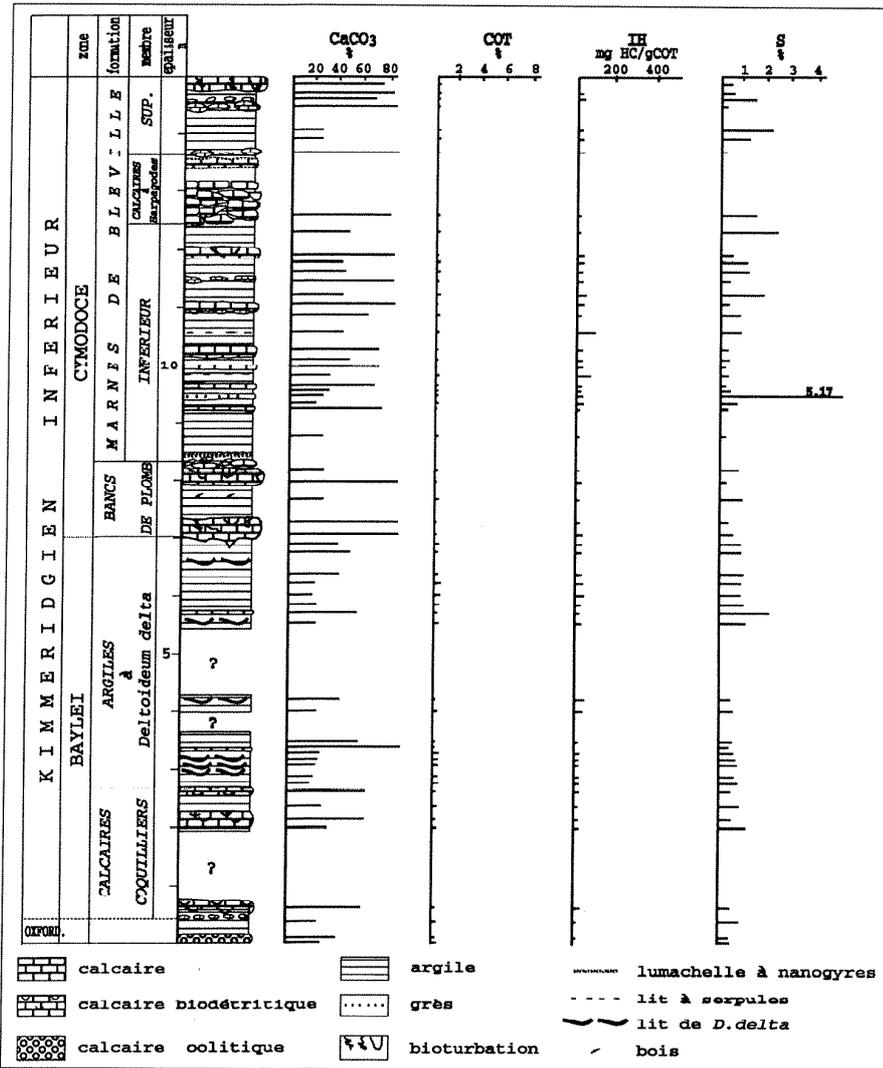


Fig. 3. - Variations des teneurs en CaCO₃, carbone organique, du soufre total et de l'indice d'hydrogène des formations du Kimméridgien inférieur de Normandie.

Fig. 3. - Variations in CaCO₃, organic carbon and sulphur contents, and in the hydrogen index of the lower Kimmeridgian formations of Normandy.

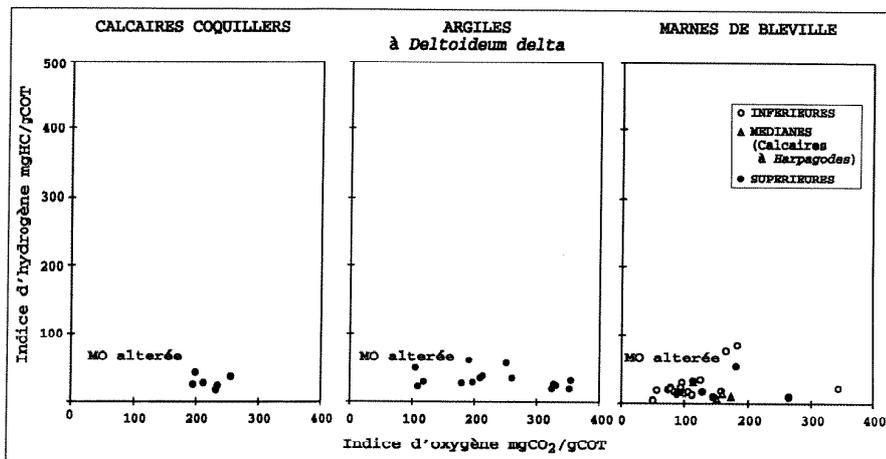


Fig. 4. - Caractérisation de la matière organique des formations du Kimméridgien inférieur de Normandie dans des diagrammes IH-IO.

Fig. 4. - Hydrogen Index vs. oxygen index diagrams of the lower Kimmeridgian formations of Normandy showing the type of organic matter.

Kimméridgien supérieur

Teneurs en carbonate et caractérisation de la matière organique

Les Argiles du Croquet inférieures et supérieures et les Argiles d'Ecqueville inférieures se caractérisent par des teneurs en carbonate plus élevées (29-56 %) que dans les membres sus-jacents où ces teneurs ne dépassent pas 38 %. Dans les Argiles d'Ecqueville médianes les teneurs en CaCO₃ diminuent progressivement jusqu'à 12 % sur les deux premiers mètres, puis commencent à augmenter pour atteindre 63-64 % dans les niveaux de lumachelle au sommet de ce membre (fig. 6). Dans les Argiles d'Ecqueville supérieures, les argiles brunnâtres au sommet de la coupe d'Ecqueville sont enrichies en carbonate par rapport aux argiles noires (31 % contre 22 % en moyenne).

Les Argiles du Croquet inférieures sont toujours pauvres en matière organique (0,4-1,1 % COT) et présentent de faibles valeurs d'IH (21-107 mg HC/g COT). La première zone relativement riche en matière organique correspond aux argiles noires compactes situées à la base des Argiles du Croquet supérieures. Dans ces niveaux, les teneurs en COT varient entre 3 et 4,4 %. Les variations des IH entre 251-381 mg HC/g COT suggèrent une origine mixte (marine et continentale) de la matière organique. Les plus fortes teneurs en carbone organique se rencontrent dans les argiles affleurant à la Brière où on observe deux intervalles dont le pourcentage en COT dépasse 2 %. Le premier, au sein des Argiles d'Ecqueville médianes, correspond aux argiles noires compactes avec des teneurs en COT variant entre 2,2 et 4,2 %. Le second se situe au sommet de la coupe d'Ecqueville où les concentrations les plus fortes en COT (3,2-7,1 %) se trouvent dans les argiles noires feuilletées, alors que les argiles brunes ont des concentrations plus faibles (1,9-2,4 % COT). Dans ces deux intervalles, les teneurs en COT et CaCO₃ présentent une corrélation négative (fig. 6).

Sur un diagramme IH-IO (fig. 7), les échantillons riches en carbone organique (> 2 % COT) se situent le long de la lignée de type II (Espitalié *et al.*, 1985-

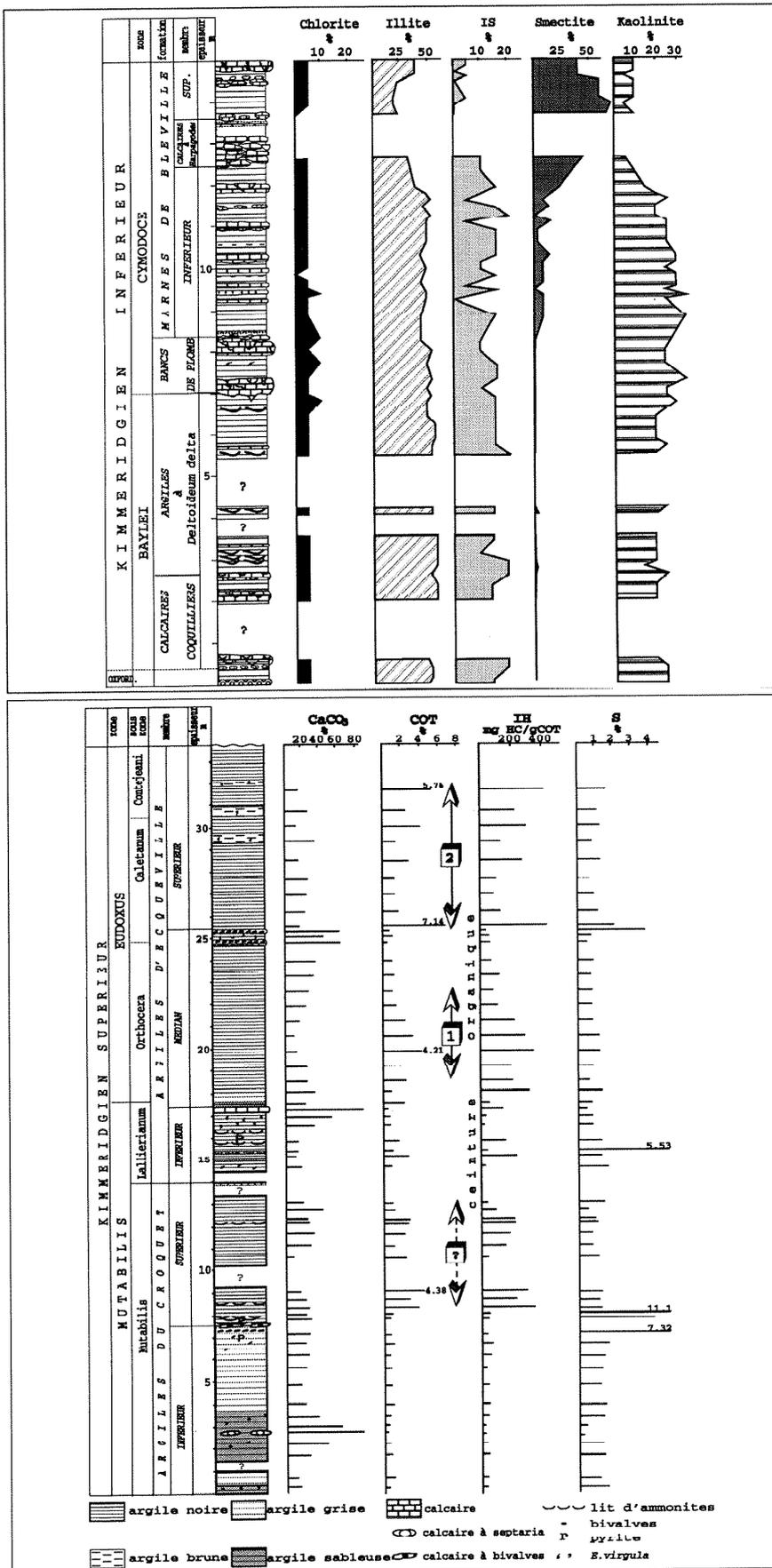


Fig. 5. – Minéralogie des argiles des formations du Kimméridgien inférieur de Normandie.

Fig. 5. – Clay mineralogy of the lower Kimmeridgian formations of Normandy.

86). La diminution des valeurs d'IH de 450 jusque 150-200 indique vraisemblablement une altération croissante de la matière organique marine. Les échantillons plus pauvres en carbone organique correspondant à la base des Argiles du Croquet et aux bancs calcaires ou lumachelliques contiendraient une matière organique d'origine mixte (type II+ type III) ou une matière organique marine très altérée comme l'indiquent leurs faibles IH.

Dans les Argiles du Croquet et d'Ecqueville, les teneurs en soufre total varient fortement (0,31-11,1 % ; fig. 6). Sur le diagramme S-COT, les échantillons de ces formations se répartissent en deux ensembles, présentant des pentes différentes (fig. 8). Les échantillons riches en soufre total correspondent aux argiles noires contenant des cristaux et nodules de pyrite à la base des Argiles du Croquet supérieures. La présence de pyrite témoigne de l'importance de la dégradation bactérienne de la matière organique dans ces sédiments. Les Argiles d'Ecqueville médianes et supérieures, riches en matière organique, constituent le second ensemble à teneurs faibles en soufre. Néanmoins, on remarque une petite augmentation du soufre à mesure que les COT augmentent, ce qui est caractéristique des milieux marins faiblement à normalement oxygénés (Berner et Raiswell, 1984).

Minéralogie des argiles

A la base de la zone à Mutabilis, dans les Argiles du Croquet inférieures de la coupe de Saint-Andrieux les smectites disparaissent au profit de l'illite et de la kaolinite qui augmentent simultanément (fig. 9). Plus haut, les pourcentages en smectites augmentent à nouveau

Fig. 6. – Variations des teneurs en CaCO₃, carbone organique, du soufre total et de l'indice d'hydrogène des Argiles d'Octeville. Les intervalles délimités par des flèches dans la colonne des pourcentages en COT indiquent l'extension probable de "ceintures organiques".

Fig. 6. – Variations in CaCO₃, organic carbon and sulphur contents, and in the hydrogen index of the "Argiles d'Octeville".

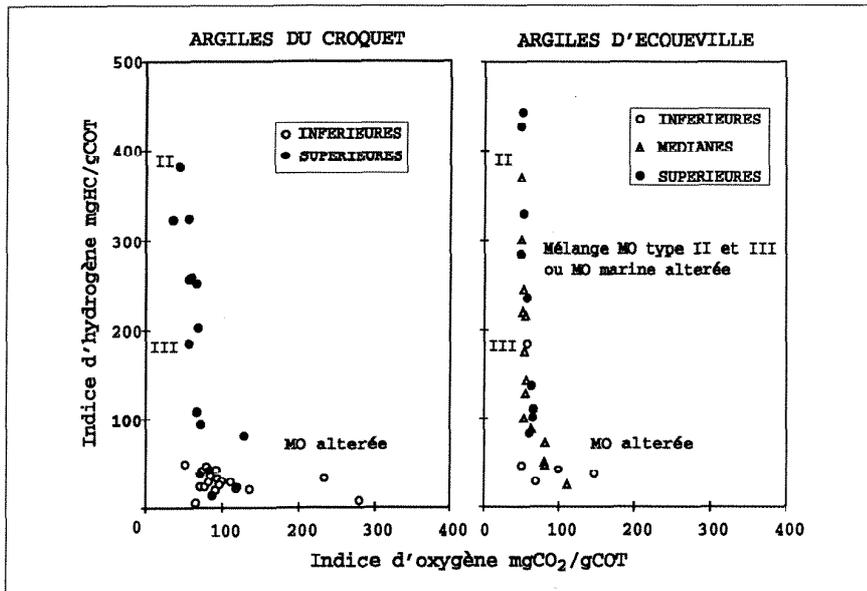


Fig. 7. – Caractérisation de la matière organique des Argiles d'Ecueville dans des diagrammes IH-IO.

Fig. 7. – Hydrogen index vs. oxygen index diagrams of the "Argiles d'Ecueville" showing the types of organic matter.

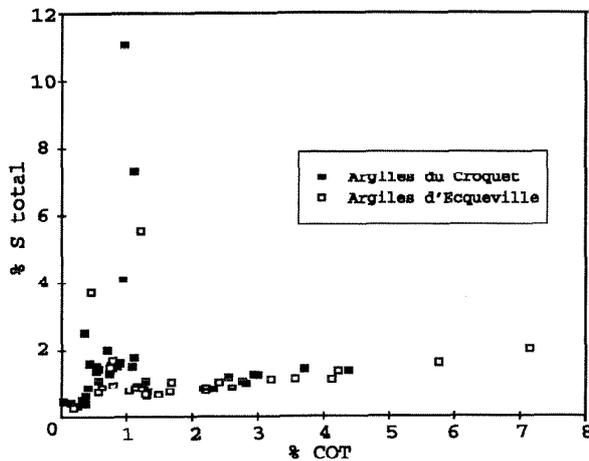


Fig. 8. – Relation en teneurs en carbone organique et soufre total dans les Argiles d'Ecueville.

Fig. 8. – Relationship between organic carbon and total sulphur in the "Argiles d'Ecueville".

mais ne dépassent pas 15 %. Dans les Argiles d'Ecueville les smectites ne sont présentes qu'en très faibles proportions et de manière occasionnelle. Dans cet ensemble la fraction argileuse est remarquablement homogène, dominée par l'illite (60 %) et la kaolinite (20 %) associées à des interstratifiés irréguliers illite/smectite (15 %) et de faibles proportions de chlorite.

Environnements de dépôt, source des argiles et préservation de la matière organique

La variabilité des faciès, la diversité faunistique, la présence des niveaux marqués par des figures de tempêtes et l'existence de nombreuses surfaces d'arrêt de sédimentation dans les forma-

tions du Kimméridgien inférieur indiquent qu'elles se sont déposées dans des milieux peu profonds ouverts sur le large et sensibles aux variations du niveau marin relatif. L'intensité de la bioturbation témoigne en particulier d'une bonne aération des eaux de fond qui a contribué à la forte altération de la matière organique, notamment, celle d'origine marine. Les faibles concentrations en carbone organique et les indices d'hydrogène négligeables sont imputables aux conditions oxydantes qui ont dû régner sur la plate-forme normande au cours du Kimméridgien inférieur.

La comparaison des variations facio-logiques et des données des argiles montre qu'il n'existe pas de relation étroite entre la profondeur du dépôt et la constitution des assemblages argileux. Toutefois, le passage progressif d'une

sédimentation à illite et kaolinite à une sédimentation smectitique apparaît dans les Marnes de Bléville, alors que la tranche d'eau diminue et que les sédiments se déposent dans des environnements plus proximaux (Calcaire à *Harpagodes*). Ce même schéma d'évolution du cortège argileux et sa relation avec la chute relative du niveau marin ont été mis en évidence dans les argiles du Kimméridgien/Tithonien du Boulonnais (Deconinck *et al.*, 1983 ; Proust *et al.*, 1993).

Dès le début de la zone à Mutabilis, les caractères facio-logiques changent, traduisant un brusque approfondissement du milieu. L'augmentation de la profondeur d'eau pendant la sédimentation des Argiles d'Ecueville se marque notamment par l'apparente uniformité des faciès et l'abondance des faunes pélagiques. Elle s'exprimerait sur les cortèges argileux par l'accroissement concomitant de l'illite et de la kaolinite, faisant suite à la dominance des smectites dans les Marnes de Bléville. Des changements minéralogiques comparables sont connus dans d'autres séries sédimentaires (Chamley, 1989) et sont généralement attribués à une reprise d'érosion liée à des mouvements épirogéniques. L'augmentation de la tranche d'eau, marquée par le contraste entre les faciès du Kimméridgien inférieur et du Kimméridgien supérieur, pourrait avoir une origine tectonique. La discrète surface d'érosion et l'apport silteux important qui souligne la limite entre les zones à Cymodoce et à Mutabilis dans le Dorset (Cox et Gallois, 1981) serait alors corrélée avec le sommet du banc qui affleure sur la coupe de Saint-Andrieux au même niveau stratigraphique, tous deux reflétant ce mouvement épirogénique et la reprise d'érosion.

Cette augmentation du niveau relatif de la mer aurait eu une double conséquence favorable à l'accumulation de matière organique. Tout d'abord, l'inondation de nouvelles surfaces tend généralement à augmenter la productivité primaire, donc le flux de matière organique participant à la sédimentation (Tissot, 1979). Ensuite, un environnement plus profond et argileux, donc protégé du brassage des tempêtes et peu poreux restreint la capacité d'oxydation sous l'interface eau-sédiment. Le bon

état de conservation de la matière organique marine (type II), déduit de l'augmentation des paramètres de pyrolyse (COT, IH et potentiel pétrolier) et l'absence de bioturbation militent en faveur d'un environnement appauvri en oxygène, au moins dans les eaux interstitielles

En dehors des différences bathymétriques semblant déterminer une meilleure préservation de la matière organique dans les sédiments, les taux de sédimentation peuvent jouer aussi un rôle important. Plusieurs auteurs ont montré que le taux de sédimentation est un des facteurs critiques d'accumulation de la matière organique (Ibach, 1982 ; Demaison et Moore, 1980 ; Tyson, 1987). En effet, quand le taux de sédimentation augmente, le temps de résidence de la matière organique à l'interface eau/sédiment diminue et par conséquent la probabilité de dégradation de la matière organique diminue également (Lallier-Vergès *et al.*, 1993). En même temps, le taux de sédimentation élevé déterminerait l'accroissement de la sulfato-réduction, car davantage de matière organique métabolisable atteint le domaine anoxique (Ibach, 1982). Ceci a dû jouer lors du passage à la sédimentation argileuse dans le Kimméridgien supérieur de Normandie. Toutefois, comparée à ses équivalents du Yorkshire et du Dorset, la matière organique normande montre des qualités pétrolières beaucoup moins bonnes. On peut supposer que la plus faible profondeur d'eau, ainsi que le taux de sédimentation plus faible en Normandie par rapport aux coupes anglaises aboutissent à une dégradation relativement plus forte de la matière organique. Vraisemblablement, les paléoenvironnements normands auraient été assez oxygénés pour que les parties facilement biodégradables de la matière organique soient détruites au cours de la traversée dans la colonne d'eau, ou à l'interface eau/sédiment, voire au-dessous de cet interface. Ainsi, l'apport de la matière organique qui pourrait être métabolisable par les bactéries sulfato-réductrices serait assez réduit. Le faible intensité de la sulfato-réduction est attestée par les faibles teneurs en soufre observées dans les sédiments riches en matière organique. En l'occurrence, les enrichissements en carbone organique des séries du Kimméridgien supérieur en Norman-

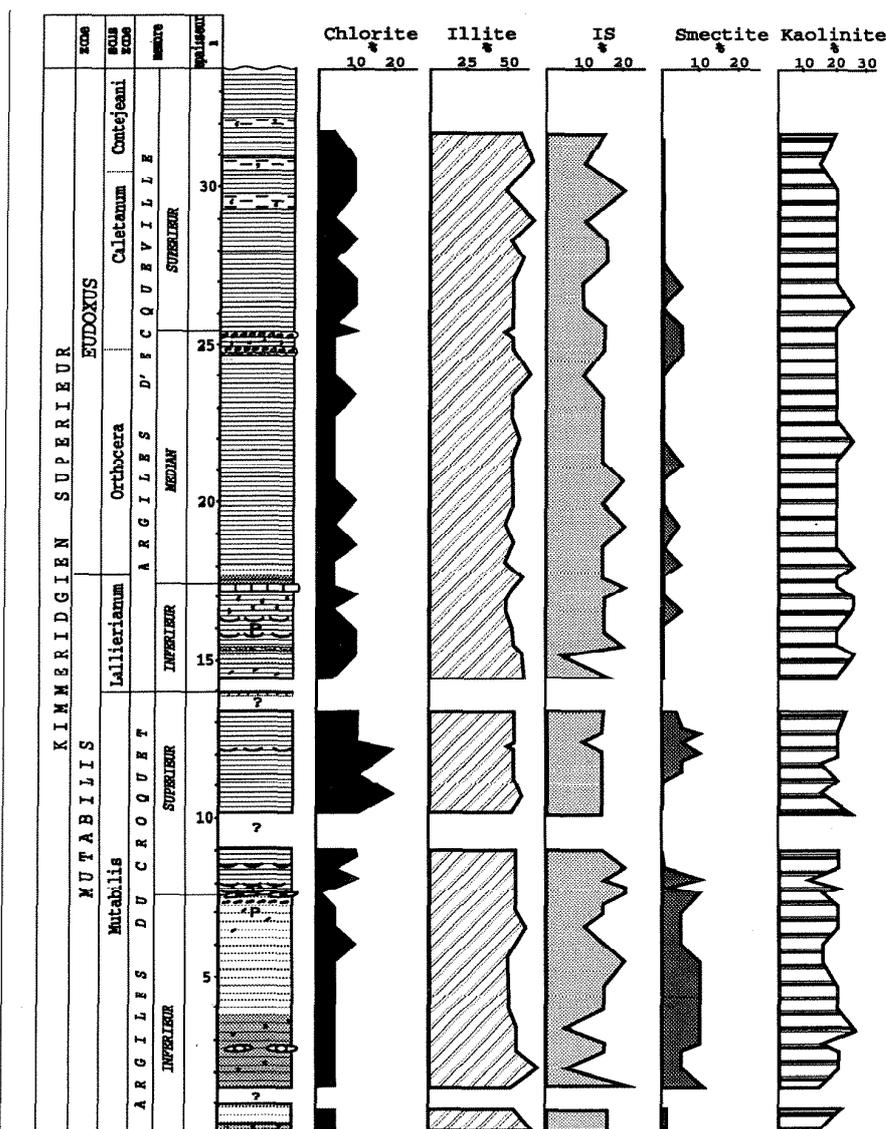


Fig. 9. - Minéralogie des Argiles d'Octeville.

Fig. 9. - Clay mineralogy of the "Argiles d'Octeville".

die résulteraient de l'augmentation du flux de matière organique marine partiellement oxydé. Il est généralement admis que la qualité pétrolière d'une telle matière organique est assez faible (Tissot et Welte, 1984 ; Pelet, 1985), ce qui se traduit par les valeurs moyennes d'IH observées dans ces formations.

En outre, les études géochimiques des sédiments normands ont mis en évidence, que par rapport aux zones distales, les variations des taux des carbonates ont une influence sur la sédimentation de la matière organique. On constate qu'à l'opposé des observations réalisées pour les argiles du Yorkshire (Tribovillard *et al.*, 1992, 1994) où

il n'y a pas de relation claire entre COT et CaCO_3 , la diminution des teneurs en COT est toujours accompagnée d'une augmentation de pourcentage en CaCO_3 dans les Argiles d'Octeville (fig. 6). L'effet de dilution par les carbonates semble également influencer l'enrichissement en carbone organique des sédiments sur les bordures de la plate-forme nord-ouest européenne.

Extension des "ceintures organiques" à la Normandie

La comparaison des séquences organiques du Kimméridgien et du Tithonien de Grande Bretagne a permis d'établir le

synchronisme d'épisodes de dépôts particulièrement riches en matière organique (Herbin *et al.*, 1991 ; Herbin et Geysant, 1993). Cinq épisodes ont été reconnus et dénommés "ceintures organiques" (Herbin et Geysant, 1993) car ils "entourèrent" de façon répétée une bonne partie de la plate-forme nord-ouest européenne. Deux de ces cinq "ceintures" sont datées du Kimméridgien, la première de la partie médiane de la zone à Eudoxus et la deuxième couvre l'intervalle de temps compris entre la partie supérieure de la zone à Eudoxus et la base de la zone à Autissiodorensis. Caractérisées par une augmentation des paramètres géochimiques (COT, IH et potentiel pétrolier), les "ceintures organiques" sont bien marquées dans les environnements distaux et tendent à disparaître dans les milieux moins profonds.

Nos analyses montrent que les deux premières "ceintures organiques" se retrouvent en Normandie à la base des Argiles d'Ecqueville médianes et dans la totalité des Argiles d'Ecqueville supérieure (fig. 6). Cette deuxième "ceinture" se poursuit normalement dans les environnements distaux jusqu'à la base de la zone à Autissiodorensis, mais l'érosion anté-aptienne en Normandie ne permet pas d'observer son sommet. On doit noter que si les deux premières "ceintures organiques" sont présentes dans les argiles du Kimméridgien normand, les paramètres géochimiques sont loin d'atteindre les valeurs de leurs équivalents anglais. Les teneurs maximales en COT atteignent 4,2 % avec des IH de 400 pour la première "ceinture organique" en Normandie contre plus de 10 % de COT et des IH de 700 dans le Yorkshire (Herbin *et al.*, 1991 ; Pradier et Bertrand 1992 ; Tribouvillard *et al.*, 1994). Cette différence tient probablement au fait que les environnements plus proximaux et plus oxygénés de Normandie ont atténué le signal organique qui trouve son plein épanouissement en domaine distal.

De plus, un premier épisode d'enrichissement en matière organique se dessine dans les argiles de la zone à Mutabilis (sous-zone à Mutabilis). Ceci confirme les données de F. Baudin (1992) et suggère qu'une "ceinture organique" précéderait celles de la zone à

Eudoxus. Or deux épisodes d'enrichissement en matière organique ont été signalés à ce niveau dans un forage du Yorkshire (Reighton), seul puits où l'ensemble de la zone à Mutabilis ait été traversé (Herbin *et al.*, 1991). De moindre importance que ceux de la zone à Eudoxus, ces épisodes n'ont pas été élevés au rang de "ceintures organiques" par J.P. Herbin et J.R. Geysant (1993). La présence d'un enrichissement relatif en carbone organique (4,4 % avec des IH de 400) au sein des Argiles du Croquet supérieures tendrait à prouver l'extension géographique d'un, au moins, des épisodes organiques de la zone à Mutabilis du Yorkshire. Il reste à préciser le synchronisme de ces deux épisodes entre Normandie et Yorkshire ou Dorset pour s'assurer qu'il s'agit bien d'une "ceinture organique" au même titre que celles qui lui succèdent dans les séries stratigraphiques anglaise et normande.

Relation entre minéralogie des argiles et matière organique

Dans l'ensemble les assemblages argileux montrent peu de différences entre les formations marneuses et carbonatées du Kimméridgien inférieur et les formations argileuses du Kimméridgien supérieur, alors que les teneurs en carbone organique y sont nettement différentes. Les cortèges argileux sont dominés par l'illite, la kaolinite et les interstratifiés, quels que soient les teneurs et le type de matière organique.

L'indépendance entre les argiles et la concentration et le type de matière organique résulte sans doute du fait que l'accumulation des argiles est contrôlée par des conditions d'hydrolyse et d'érosion continentale alors que l'accumulation et la préservation de la matière organique dépend principalement de la productivité planctonique, des conditions d'oxygénation des eaux et du taux de sédimentation.

L'absence de relation entre ces deux composants du sédiment suggère également le rôle minime des acides organiques sur l'évolution diagénétique des minéraux argileux, contrairement à ce qui a été décrit dans les argiles du Yorkshire (Bachaoui et Ramdani, 1993). Il

faut noter, cependant, que les teneurs en COT des argiles en Normandie sont nettement inférieures à celle du Yorkshire (3 % contre 10 % en moyenne).

Comparaison avec le Boulonnais

Si la série kimméridgienne de Normandie constitue un complément de celle du Boulonnais pour les zones à Baylei, Cymodoce et Mutabilis, l'existence de dépôts de la zone à Eudoxus dans ces deux régions autorise les comparaisons.

Dans le Boulonnais, la zone à Eudoxus est représentée par les Argiles du Moulin Wibert *p.p.*, les Sables et Grès de Conninckhun, les Calcaires du Moulin Wibert et les Grès de Châtillon (Geysant *et al.*, 1993 ; fig. 10). Cette succession est séparée en deux cycles majeurs de transgression/régression (Proust *et al.*, 1993 ; 1995), le premier couvrant la sous-zone à Orthocera alors que le second intéresse les sous-zones à Caletanum et Contejeani. De façon analogue, le premier cycle correspondrait aux Argiles d'Ecqueville médianes en Normandie et le second, incomplet du fait de l'érosion, correspondrait aux Argiles d'Ecqueville supérieures. Les niveaux lumachelliques couronnant les Argiles d'Ecqueville médianes (fig. 2) seraient alors corrélables avec les Sables et Grès de Conninckhun.

Dans les deux régions, les sédiments de la zone à Eudoxus sont généralement riches en illite et kaolinite. On note toutefois au sein des Argiles du Moulin Wibert un accroissement progressif des proportions de smectites aux dépens de l'illite et de la kaolinite vers le haut de la formation (Deconinck *et al.*, 1983). Au sommet des Argiles du Moulin Wibert, la fraction argileuse, essentiellement smectitique, serait d'origine pédologique (Deconinck *et al.*, 1983) et associée à la diminution de la profondeur relative du niveau marin (Proust *et al.*, 1993). Cet accroissement de la proportion des smectites n'est pas enregistré en Normandie vers le sommet des Argiles d'Ecqueville médianes, pourtant contemporaines des Argiles du Moulin Wibert d'après les données biostratigraphiques actuellement disponibles.

Le retour à une sédimentation argileuse dominée par l'illite et la kaolinite dès la base de la sous-zone à Caletanum dans le Boulonnais a été interprétée comme l'écho d'une activité tectonique entraînant un rajeunissement morphologique du massif Anglo-Brabant tout proche (Deconinck *et al.*, 1983 ; Proust *et al.*, 1993). En Normandie, un changement majeur et de même type des cortèges argileux survient à la limite Kimméridgien inférieur/Kimméridgien supérieur, limite invisible dans le Boulonnais. Il faut soit admettre que l'événement tectonique suggéré par les argiles et les brusques changements lithologiques est diachrone (il serait alors plus précoce en Normandie que dans le Boulonnais) soit qu'il existe deux événements tectoniques. L'un serait enregistré en Normandie à la base de la zone à Mutabilis et non détecté dans le Boulonnais puisque les sédiments de cet intervalle n'affleurent pas et l'autre dans le Boulonnais au passage sous-zone à Orthocera/sous-zone à Caletanum mais apparemment invisible en Normandie.

Une autre différence entre ces deux régions concerne l'expression des "ceintures organiques". Les dépôts de la zone à Eudoxus du Boulonnais, caractérisés par des bancs bioclastiques plus nombreux qu'en Normandie, traduisent un milieu de dépôt plus proximal. Cette paléoprosfondeur plus faible et la position paléogéographique respective des deux régions (fig. 1) n'a pas permis aux deux premières "ceintures organiques" de s'exprimer dans le Boulonnais (Herbin *et al.*, 1995) alors que nous les mettons clairement en évidence en Normandie.

Conclusions

Nous disposons désormais d'une bonne vision des variations des teneurs en carbone organique et en argiles du Kimméridgien du Nord-Ouest du Bassin de Paris, en associant les séries stratigraphiques de Normandie et du Boulonnais.

Les nouvelles données géochimiques complètent et confirment celles obtenues antérieurement. Elles permettent de mettre en évidence trois épisodes d'enrichissement en matière organique. Deux de ces épisodes sont corrélés avec les

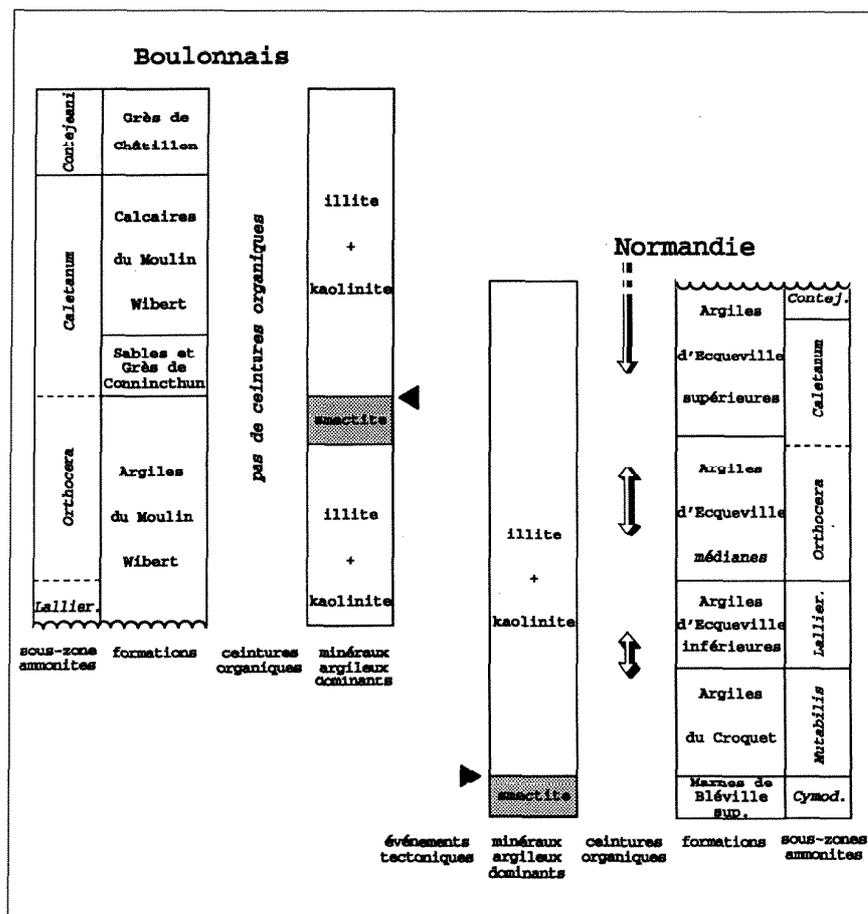


Fig. 10. – Comparaison des principaux caractères lithologiques et géochimiques des sédiments de la zone à Eudoxus entre Boulonnais et Normandie.

Fig. 10. – Comparison of the main lithological and geochemical characters of the Eudoxus Zone deposits from Boulonnais and Normandy.

deux premières "ceintures organiques" reconnues dans la zone à Eudoxus dans le Yorkshire et le Dorset. Une première ceinture organique, dont la position au sein de la zone à Mutabilis reste à préciser, se dessine en Normandie.

Ces épisodes paroxysmaux de préservation de la matière organique coïncident avec des périodes d'augmentation de la productivité phytoplantonique et une augmentation de la sulfato-réduction.

La constitution des assemblages argileux de Normandie est indépendante des teneurs et du type de matière organique, ce qui est aussi le cas dans le Boulonnais. Les variations verticales du cortège argileux et du contenu en carbone organique seraient sous l'influence de la tectonique locale, notamment au passage

Kimméridgien inférieur/Kimméridgien supérieur où un brusque approfondissement du milieu se marque par la disparition des smectites au profit de l'illite et de la kaolinite.

Remerciements

Ce travail est une contribution au PICG 343. Les analyses géochimiques ont été réalisées à l'Institut français du Pétrole. Nous avons bénéficié de l'aide technique de R. Caron pour les lames minces et P. Recourt pour les analyses Leco et la diffractométrie X. Nous remercions G. Breton, J. Guyader, L. Emmanuel et J.N. Proust de leur aide pour l'échantillonnage et des discussions devant les affleurements ainsi que F. Mélières et N. Tribouvillard pour leurs remarques et critiques constructives du manuscrit.

Références

- BACHAOUI E.M., RAMDANI A. (1993). – Evaluation de l'héritage et de la diagenèse dans la composition du cortège argileux de deux cycles élémentaires du forage de Marton-87 (Kimmeridge Clay Formation, G.B.). Relation avec la matière organique. Journées GDR 942, 1 p.
- BAUDIN F. (1992). – Etude préliminaire du contenu en matière organique du Kimméridgien normand. *Géologie de la France*, 2, pp. 31-38.
- BERNER R.A., RAISWELL R. (1984). – C/S method for distinguishing freshwater from marine sedimentary rock. *Geology*, 12, pp. 365-368.
- BRETON G. (1981). – Excursion géologique sur le littoral entre le Havre et Etretat (Normandie, France). *Bull. Soc. Géol. Normandie et des Amis du Muséum du Havre*, 68, 3, 56 p.
- CECCA F., AZEMA J., FOURCADE E., BAUDIN F., GUIRAUD R., BONNEAU M., DE WEVER P. (1993). – Early Kimmeridgian Palaeoenvironments. In : Dercourt J., Ricou L.E. et Vrielynck B. (ed.) : Atlas Tethys Palaeoenvironmental maps. Maps. BEICIP - FRANLAB.
- CHAMLEY H. (1989). – Clay sedimentology. Springer Verlag, 623 p.
- COX B.M., GALLOIS R.W. (1981). – The stratigraphy of the Kimmeridge Clay of the Dorset type area and its correlation with some other Kimmeridgian sequences. *Institute Geological Sciences Report*, 80, 4, pp. 1-44.
- DECONINCK J.F., CHAMLEY H., DEBRABANT P., COLBEAUX J.P. (1983). – Le Boulonnais au Jurassique supérieur : données de la minéralogie des argiles et de la géochimie. *Ann. Soc. Géol. Nord*, 102, pp. 145-152.
- DEMAISON G.J., MOORE G.T. (1980). – Anoxic environments and oil source bed genesis. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 64, 8, pp. 1179-1209.
- DOLLFUS A. (1863). – Essai d'une révision paléontologique de la faune kimméridgienne du Cap de la Hève. Imprimerie Savy, 102 p.
- ESPITALIE J., DEROO G., MARQUIS F. (1985-86). – La pyrolyse RockEval et ses applications. *Rev. Inst. Fr. Pétrole*, 40/5, pp. 563-579 ; 40/6, pp. 755-784 ; 41/1, pp. 73-89.
- GALTON P., BOINE G. (1980). – A stegosaurian dinosaur femur from the Kimmeridgian beds (Upper Jurassic) of Cap de la Hève, Normandy. *Bull. Soc. Géol. Normandie et Amis Muséum du Havre*, 67, 4, pp. 31-35.
- GEYSSANT J.R., VIDIER J.P., HERBIN J.P., PROUST J.N., DECONINCK J.F. (1993). – Biostratigraphie et paléoenvironnement des couches de passage Kimméridgien/Tithonien du Boulonnais (Pas-de-Calais) : nouvelles données paléontologiques (ammonites), organisation séquentielle et contenu en matière organique. *Géologie de la France*, n° 4, pp. 1124.
- GRUPE FRANÇAIS D'ETUDE DU JURASSIQUE (1991). – Réactualisation des échelles d'Ammonites. Kimméridgien. In 3th International Symposium on Jurassic Stratigraphy, Poitiers, Abstracts Book, p. 133.
- GUYADER J. (1968). – Le Jurassique supérieur de la Baie de Seine : étude stratigraphique et micropaléontologique. Thèse de la Faculté des Sciences de Paris, 268 p.
- HANTZPERGUE P. (1989). – Les Ammonites kimméridgiennes du haut-fond d'Europe occidentale : biochronologie, systématique, évolution, paléobiogéographie. *Cahiers de Paléontologie*, 478 p.
- HERBIN J.P., MULLER C., GEYSSANT J.R., MELIERES F., PENN I.E. (1991). – Hétérogénéité quantitative et qualitative de la matière organique dans les argiles du Kimméridgien du Val de Pickering (Yorkshire, UK). Cadre sédimentologique et stratigraphique. *Rev. Inst. Fr. Pétrole*, 46, 6, pp. 675-712.
- HERBIN J.P., GEYSSANT J.R. (1993). – "Ceintures organiques" au Kimméridgien/Tithonien en Angleterre (Yorkshire, Dorset) et en France (Boulonnais). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, 317, pp. 1309-1316.
- HERBIN J.P., FERNANDEZ MARTINEZ J.L., GEYSSANT J.R., EL ALBANI A., DECONINCK J.F., PROUST J.N., COLBEAUX J.P., VIDIER J.P. (1995). – Sequence stratigraphy of source rocks applied to the study of the Kimmeridgian/Tithonian in the north-west European shelf (Dorset/UK, Yorkshire/UK and Boulonnais/France). *Marine and Petroleum Geology*, 12, pp. 171-194.
- HOLTZAPFFEL T. (1985). – Les minéraux argileux : préparation, analyse diffractométrique et détermination. *Mém. Soc. Géol. Nord*, 12, 136 p.
- IBACH L.E.J. (1982). – Relationship between sedimentation rate and total organic carbon content in ancient marine sediments. *Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, 66, 2, pp. 170-188.
- LALLIER-VERGES E., BERTRAND P., HUC A.Y., BUCKEL D., TREMBLAY P. (1993). – Control of the preservation of organic matter by productivity and sulfate reduction in Kimmeridgian shales from Dorset (UK). *Marine Petroleum Geology*, 10, pp. 600-605.
- LENNIER G. (1867). – Etudes géologiques et paléontologiques sur l'embouchure de la Seine et les falaises de Haute-Normandie. Costey, 245 p.
- PELET R. (1985). – Sédimentation et évolution géologique de la matière organique. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, I, 7, pp. 1075-1086.
- PRADIER B., BERTRAND P. (1992). – Etude à haute résolution d'un cycle du carbone organique de rochemère du Kimméridgien du Yorkshire (G.B.) : relation entre composition pétrographique du contenu organique observé in situ, teneur en carbone organique et qualité pétrolière. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, 315, pp. 187-192.
- PROUST J.N., DECONINCK J.F., GEYSSANT J.R., HERBIN J.P., VIDIER J.P. (1993). – Nouvelles données sédimentologiques dans le Kimméridgien et le Tithonien du Boulonnais (France). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, 316, pp. 363-369.
- PROUST J.N., DECONINCK J.F., GEYSSANT J.R., HERBIN J.P., VIDIER J.P. (1995). – Sequence analytical approach to the Upper Kimmeridgian- Lower Tithonian storm-dominated ramp deposits of the Boulonnais (Northern France). A landward time-equivalent to offshore marine source rocks. *Geol Rundsch.*, 84, pp. 255-271.
- RIOULT M. (1961). – Problèmes de géologie havraise. *Bull. Soc. Géol. Normandie et Amis du Muséum du Havre*, 51, pp. 32-48.

RIOULT M. (1980). – In MEGNIEN C. et MEGNIEN F. (eds) Synthèse géologique du Bassin de Paris. Mémoire BRGM, n° 103, 3, Lexique des noms de formations.

SAMSON Y., LEPAGE G., HANTZPERGUE P., GUYADER J., SAINT-GERMÈS M., BAUDIN F., BIGNOT G. (1996). – Géologie et biostratigraphie du Kimméridgien des falaises et estrans de la région havraise. *Géologie de la France* (ce volume).

TISSOT B. (1979). – Effects on prolific petroleum source rocks and major coal deposits caused by sea-level changes. *Nature*, **277**, pp. 463-465.

TISSOT B., WELTE D.H. (1984). – Petroleum formation and occurrence. SpringerVerlag 2d edition, 699 p.

TORNQUIST A., (1896). – Die degencierten Perisphincten des Kimmeridge von Le Havre. *Abh. Schweiz. Paläont. Ges.*, **23**, pp. 1-23.

TRIBOVILLARD N.P., DESPRAIRIES A., BERTRAND P., LALLIER-VERGES, DISNAR J.R., PRADIER B. (1992). – Etude à haute résolution d'un cycle du carbone organique de roches kimméridgiennes du Yorkshire (GB): minéralogie et géochimie (résultats préliminaires). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, **314**, pp. 923-930.

TRIBOVILLARD N.P., DESPRAIRIES A., LALLIER-VERGES E., BERTRAND P., MOUREAU N., RAMDANI A., RAMANAMPISOA L. (1994). – Geochemical study of organicrich cycles from the Kimmeridge Clay Formation of Yorkshire (UK) : productivity versus anoxia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology*, **108**, pp. 165-181.

TYSON R.V. (1987). – The genesis and palynofacies characteristics of marine petroleum source rocks. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, **26**, pp. 47-67.

COLLOQUE FORMATIONS SUPERFICIELLES ET GÉOMORPHOLOGIE

ROUEN, 19-20 MARS 1996

Document du BRGM n° 248

Organisé par la Société géologique de France, l'URA "Géomorphologie et transferts de surface", l'Université de Rouen et le BRGM, le colloque sur le thème "formations superficielles et géomorphologie" rassemble des communautés scientifiques qui n'ont pas pour première habitude de travailler en commun : géologues, géographes, et spécialistes des applications et des aménagements.

Les domaines abordés sont multiples :

- Bilan sédimentaire, érosion mécanique, *versus* altération chimique.
- Relations altération-karstification sur substrat carbonaté.
- Géomorphologie, altération, "paléosurface" et tectonique.
- Formations superficielles et applications.
- Evolution continentale du Bassin Anglo-Parisien (Tertiaire-Quaternaire).

Cet ouvrage contient les résumés des communications et le livret guide de l'excursion sur les plateaux de l'Eure (argile à silex en place ou remaniés "biefs") géomorphologie quaternaire en basse vallée de la Seine, aménagement et ressources.

Prix de vente : 250 F + 50 F de frais de port et d'emballage pour la France ou 60 F pour l'étranger

En vente chez votre libraire habituel

ou à défaut aux :

Éditions BRGM - BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France

Tél. : 02 38 64 30 28

accompagné de votre titre de paiement

Colloque GéoFrance 3D CONNAISSANCE DES STRUCTURES ET DES PROCESSUS GÉOLOGIQUES DU SOUS-SOL DE LA FRANCE : vers un observatoire 3D, de la croûte continentale Synthèse des groupes thématiques

Document du BRGM n° 247

Les enjeux du programme national GéoFrance 3D (C.J. Allègre)

Gestion et cartographie des données géophysiques (C. Truffert et R. Schlich)

Représentation géométrique 3D et modélisation (A. Guillen et H. Perroud)

Méthodologie d'imagerie et d'inversion 3D (A. Tarantola)

Les provinces métallogéniques 3D (J.P. Milési)

La 3^e dimension en hydrogéologie : perspectives de recherche (T. Pointet)

La physique des roches (Y. Guégen)

Introduction aux modèles géologiques et géomorphologiques 1/1 000 000 3D (J. Mercier)

Les structures crustales profondes (A. Autran)

Imagerie de bassin (F. Guillocheau)

Tectonique active et géomorphologie (O. Bellier *et al.*)

Introduction à la cartographie 3D de cibles régionales (P. Ledru)

Le Massif armoricain (J.P. Brun et P. Guennoc)

Les Alpes (J.M. Lardeaux)

Le Bassin du sud-est (M. Séguret)

Les Pyrénées (M. Daignières)

Le Fossé rhénan (J.C. Maurin)

Méthodologie carte 3D 1/10 000 (B. Bourguin et F. Cornet)

Le Fossé rhénan au 1/10 000 (F. Cornet)

La Marge ardéchoise (D. Bonijoly)

Prix de vente : 200 F + 50 F de frais de port et d'emballage pour la France ou 60 F pour l'étranger

En vente chez votre libraire habituel

ou à défaut aux :

Éditions BRGM - BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France - Tél. : 02 38 64 30 28

accompagné de votre titre de paiement