

# Contrôle géodynamique de la sédimentation argileuse du Callovien–Oxfordien moyen dans l'Est du bassin de Paris : influence eustatique et volcanique

*Eustatic and volcanic influence during Middle Callovian to Middle Oxfordian clay sedimentation in the eastern part of the Paris Basin*

Pierre Pellenard<sup>a\*</sup>, Jean-François Deconinck<sup>a</sup>, Didier Marchand<sup>b</sup>, Jacques Thierry<sup>b</sup>, Dominique Fortwengler<sup>c</sup>, Georges Vigneron<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Sédimentologie et géodynamique, UMR 8577 CNRS, université des sciences et technologies de Lille, UFR « Sciences de la Terre », 59655 Villeneuve d'Ascq cedex, France

<sup>b</sup> Centre des sciences de la Terre, UMR CNRS 5561, Biogéosciences Dijon et université de Bourgogne, 6, bd Gabriel, 21000 Dijon, France

<sup>c</sup> Le Clos des Vignes, Quartier Pierry, 26160 La Bégude de Mazenc, France

<sup>d</sup> Andra, parc de la Croix-Blanche, 1–7, rue Jean-Monnet, 92298 Châtenay-Malabry France

(Reçu le 27 février 1999, accepté après révision le 5 avril 1999)

**Abstract** — The Middle Callovian to Middle Oxfordian clay deposits drilled in the eastern Paris Basin (borehole HTM 102, ANDRA) show a strong mineralogical change occurring in the lowermost Oxfordian (Scarburgense subzone, Mariae zone). Such a change probably results from the initial development of connections between the young Atlantic Ocean and the Paris Basin. A bentonitic layer identified close to the boundary between Lower and Middle Oxfordian and also recognized in the subalpine Basin (South-East of France) at the same age, reflects a volcanic activity probably resulting from an extensional regime located in the North Sea. (© Académie des sciences / Elsevier, Paris.)

**clay minerals / Callovian / Oxfordian / bentonite / Paris Basin / France**

**Résumé** — Dans les argiles du Callovien moyen – Oxfordien moyen (forage HTM 102, Andra), situé dans l'Est du bassin de Paris, un changement minéralogique important se produit à l'Oxfordien basal (sous-zone à Scarburgense, zone à Mariae). La première (?) mise en connexion du jeune domaine atlantique avec la plate-forme, devenue aujourd'hui le bassin de Paris, serait à l'origine de la modification majeure des sources détritiques. Par ailleurs, un niveau de bentonite identifié au passage Oxfordien inférieur – Oxfordien moyen, reconnu dans les Terres noires du bassin subalpin méridional, témoigne d'une activité volcanique, probablement liée à un régime extensif en mer du Nord. (© Académie des sciences / Elsevier, Paris.)

**minéraux argileux / Callovien / Oxfordien / bentonite / bassin de Paris / France**

---

Note présentée par Jean Dercourt.

\* Correspondance et tirés à part.  
Pierre.Pellenard@univ-lille1.fr

## Abridged version

### Introduction

During the Late Jurassic, the Paris Basin was submitted to the combined influences of the Tethys ocean, the North Sea and the opening Atlantic (Dercourt et al., 1985; Ziegler, 1990). A major change occurs between Bathonian to Lower Callovian carbonate dominated environments and Middle–Upper Callovian to Lower–Middle Oxfordian terrigenous sedimentation. Such a turn-over marked by a hardground developed throughout the Paris Basin resulted from a submergence of the carbonate platforms (Thierry et al., 1980a; Thierry et al., 1980b; Dugué, 1989; Floquet et al., 1989; Rioult et al., 1991).

About 130 m of Middle Callovian to Middle Oxfordian clays and silty clays overlying Bathonian to Lower Callovian oolitic and bioclastic limestones were drilled continuously at site HTM 102 ANDRA located on the eastern border of the Paris Basin (*figure 1*). The clay mineral assemblages of 160 samples, accurately located in time, using a biostratigraphical ammonite zonal scheme, were studied to document the relationships between clay mineralogy, sequence stratigraphy and the palaeogeographic evolution of the Paris Basin. Clay minerals were determined by X-ray diffraction on oriented mounts using the method described by Holtzapffel (1985) and Moore and Reynolds (1989).

### Results and discussion

The clay mineral assemblages are dominantly composed of illite, kaolinite and illite/smectite mixed layers (I/S) including either  $R = 1$  or  $R = 0$  types (*figure 2*). A major change characterized by an increasing proportion of I/S  $R=0$  relative to illite and kaolinite occurs in a 10-m-thick interval in the Lower Oxfordian, Mariae zone, within the Scarburgense subzone (*figure 2*). The change from I/S  $R = 0$  to I/S  $R = 1$  with depth of burial usually indicates the influence of thermal diagenesis (Lanson and Meunier, 1995). But in this case, analyses previously performed on organic matter (Elie and Landais, 1997) and fluid inclusions (Cathelineau et al., 1997) indicate that the temperature of the Callovian and Oxfordian sediments probably never exceeds 50 °C. Therefore, the mineralogical evolution is rather interpreted in terms of modifications of detrital sources and major palaeogeographical changes instead of reflecting burial diagenesis.

The comparison between sequence stratigraphy analysis and clay mineralogy evolution shows that the mineralogical change occurs during a period of high sea level recognized throughout Western Europe (Hardenbol et al., 1998). This period corresponds to a short ammonite-bearing clayey interval and with the maximum clay-content determined by X-ray diffraction analyses performed on the bulk rock. A similar change occurs in Normandy (Dugué, 1989, 1991) and in the oldest sediments drilled in the Atlantic (Ogg et al., 1983; Chamley, 1989); in the northern part of the Paris Basin, this change is not recorded in coeval sediments (Decommer and

Chamley, 1981; Debrabant et al., 1992). According to Dugué (1991) the smectite inputs in the Paris Basin come from the Atlantic Ocean. High sea level may have played a major role in the development of connections between the Atlantic Ocean and the Paris Basin and is probably related to more superficial erosion on exposed land (Armorican Massif, Londres-Brabant high and French Massif Central).

### Occurrence of a bentonitic layer

A particular cm-thick layer occurs at 351.42 m near the boundary between the Cordatum and Plicatilis ammonite zone (Lower/Middle Oxfordian boundary). As bentonites identified in the Aptian and the Turonian (Deconinck et al., 1991; Deconinck and Chamley, 1995; Dauphin et al., 1998), the clay fraction of this layer is almost entirely composed of dioctahedral smectites. Observations of smear slides shows the occurrence of volcanic minerals including zircon type S20 (Pupin, 1976), apatite, automorphic quartz and ferromagnesian. Smectite originates from the submarine weathering of volcanic glass shards. This bentonitic layer has been also recognized in the Terres Noires (subalpine basin, South-East France) confirming its widespread geographic distribution. In the Middle and Late Jurassic, volcanic influences have been previously recognized in Bathonian deposits of Somerset (Jeans et al., 1977), from the Callovian and the Kimmeridgian of Skye (Scotland; Knox, 1977) and in Ammonitico Rosso deposits from the southern Alps (Italy; Bernoulli and Peters, 1970). Volcanic centres were probably located in the central North Sea (Smith and Ritchie, 1993) which was submitted to an extensional regime.

### Conclusion

In the Middle Callovian to Middle Oxfordian clay deposits drilled in the eastern Paris Basin a strong mineralogical change, characterized by an increasing proportion of smectitic minerals relative to illite and kaolinite, occurs in the Scarburgense subzone. It coincides with a maximum flooding surface and probably results from 1) the development of connections between the opening Atlantic Ocean and the Paris Basin and 2) decreasing intensity of the erosion on exposed land masses.

A bentonitic layer is identified close to the boundary between the Lower and Middle Oxfordian. It is characterized by the abundance of dioctahedral smectites and the occurrence of volcanic minerals. This layer also recognized in the Terres Noires from the subalpine Basin (South-East France) reflects volcanic activity in the North Sea and constitutes an isochronous horizon that will be useful for long distance correlations and radiochronological dating.

Both events (mineralogical change during the Lower Oxfordian and occurrence of bentonite close to the Lower/Middle Oxfordian boundary) are associated with Western Europe geodynamic evolution, respectively the opening of the Atlantic and an extensional regime in the North Sea.

## 1. Introduction

Durant le Callovien–Oxfordien, le bassin de Paris se situe au carrefour de trois domaines géodynamiques majeurs : Téthys, mer du Nord et Protoatlantique. Les terres probablement émergées les plus proches correspondent au Massif armoricain et au massif Londres–Brabant (Dercourt et al., 1985 ; Ziegler, 1990). Le massif des Vosges–Forêt-Noire n'existe pas et le Massif central n'est pas ou que peu exondé (Thierry et al., 1980a et b).

Un net changement paléogéographique se produit sur l'ensemble du bassin de Paris à la fin du Callovien inférieur. Des dépôts silto-argileux apparaissent, marquant l'ennoiement généralisé des plates-formes carbonatées du Bathonien. À l'est, la plate-forme bourguignonne, qui constitue une aire haute (éperon bourguignon), est dominée par des dépôts argilo-carbonatés d'épaisseur réduite ; à l'ouest, la plate-forme armoricaine subit l'ennoiement de sa bordure orientale (Riout et al., 1991) ; quant à la plate-forme ardennaise, elle connaît un ennoiement progressif, avec la mise en place d'apports silteux et argileux (Thierry et al., 1980b). D'un point de vue paléobiogéographique, on constate la transgression faunique d'ammonites, d'origine boréale et subboréale, vers la province subméditerranéenne (Thierry, 1988).

Sur la bordure est du bassin de Paris (figure 1), l'analyse sédimentologique et biostratigraphique du forage HTM 102 Andra indique, pour le Callovien moyen et supérieur, une sédimentation dominée par des apports détritiques fins. Les faciès, silto-carbonatés, témoins d'un environnement de dépôt de type plate-forme externe, surmontent une surface durcie et perforée, reconnue dans l'ensemble du bassin de Paris (Thierry et al., 1980b ; Dugué, 1989 ; Floquet et al. ; 1989). Cette surface se situe sur le toit de

calcaires bioclastiques datés du Callovien inférieur par brachiopodes (figure 2). Sur l'ensemble de la série argileuse, d'une épaisseur de 130 m et qui débute avec le Callovien moyen (zone à Jason), la zone à Mariae (Oxfordien inférieur) correspond à la période d'ennoiement maximal ; elle est marquée par l'abondance de niveaux argileux riches en ammonites. L'augmentation des faciès calcaréo-marneux à l'Oxfordien moyen souligne l'installation de la plate-forme « argovienne », annonciatrice de la sédimentation carbonatée de l'Oxfordien supérieur.

Afin de préciser les modalités de l'évolution paléogéographique du bassin de Paris, du Callovien moyen à l'Oxfordien moyen, la succession verticale des cortèges argileux a été étudiée et comparée au découpage séquentiel, établi grâce aux données sédimentologiques (faciès, microfaciès) et diagraphiques. De plus, l'ensemble des données est calé dans l'échelle biostratigraphique, grâce à une faune abondante sur la totalité des dépôts examinés.

## 2. Constitution des cortèges de minéraux argileux

Les cortèges argileux, étudiés sur 160 échantillons par diffraction des rayons X sur préparation orientées, suivant la méthode exposée par Holtzapffel (1985) et Moore et Reynolds (1989), sont essentiellement constitués d'illite, d'interstratifiés ordonnés illite/smectite (I/S) de type  $R = 1$ , pauvres en feuillets smectitiques (25 à 45 %), d'interstratifiés désordonnés illite/smectite de type  $R = 0$ , riches en feuillets smectitiques (45 à 75 %), que nous assimilons, pour simplifier, à des smectites, de la chlorite et de la kaolinite (figure 2). La succession minéralogique permet de distinguer 5 intervalles :

- les calcaires bioclastiques du Callovien inférieur, qui présentent une fraction argileuse dominée par la kaolinite (environ 50 % en proportion relative) et par l'illite (30 %) ;
- les marnes et les argilites silto-carbonatées du Callovien moyen et supérieur et de la base de l'Oxfordien inférieur, qui montrent des cortèges argileux dominés par les mêmes minéraux, bien que l'illite (40 à 50 %) augmente aux dépens de la kaolinite (25 à 35 %) ;
- un changement minéralogique important et rapide, qui se produit à la base de l'Oxfordien inférieur, au sein de la zone à Mariae (sous-zone à Scarboroughense), indépendamment de tout changement lithologique notable ; il est marqué par l'augmentation de la proportion d'interstratifiés illite/smectite, aux dépens de l'illite et de la kaolinite, qui disparaît rapidement ; ce changement se marque aussi par le passage d'interstratifiés I/S de type  $R = 1$ , à des interstratifiés I/S, de type  $R = 0$  ;
- un assemblage argileux, dominé par des I/S de type  $R = 0$  (60 à 70 % en proportion relative), de la partie supérieure de la zone à Mariae (sous-zone à Praecordatum) jusqu'à la partie médiane de la zone à Cordatum ;
- enfin, la partie terminale de l'Oxfordien inférieur et la partie basale de l'Oxfordien moyen, qui présentent des fluctuations relativement importantes des proportions d'interstratifiés I/S  $R = 0$  et de l'illite.

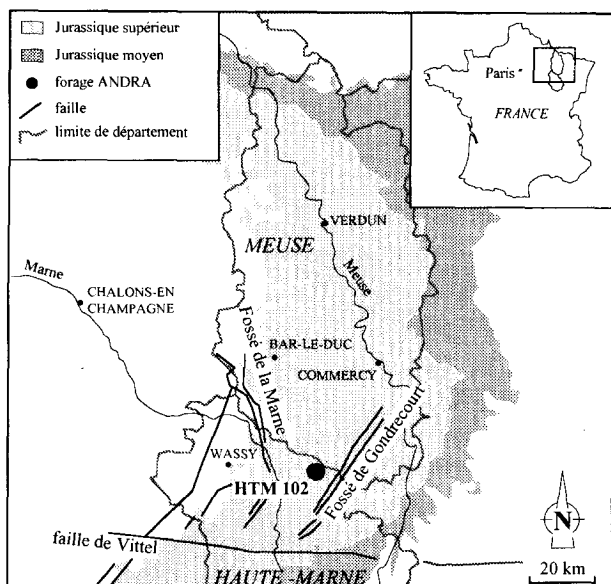


Figure 1. Localisation géographique et cadre géologique du forage Andra HTM 102.

Location map and geological setting of HTM 102 borehole.

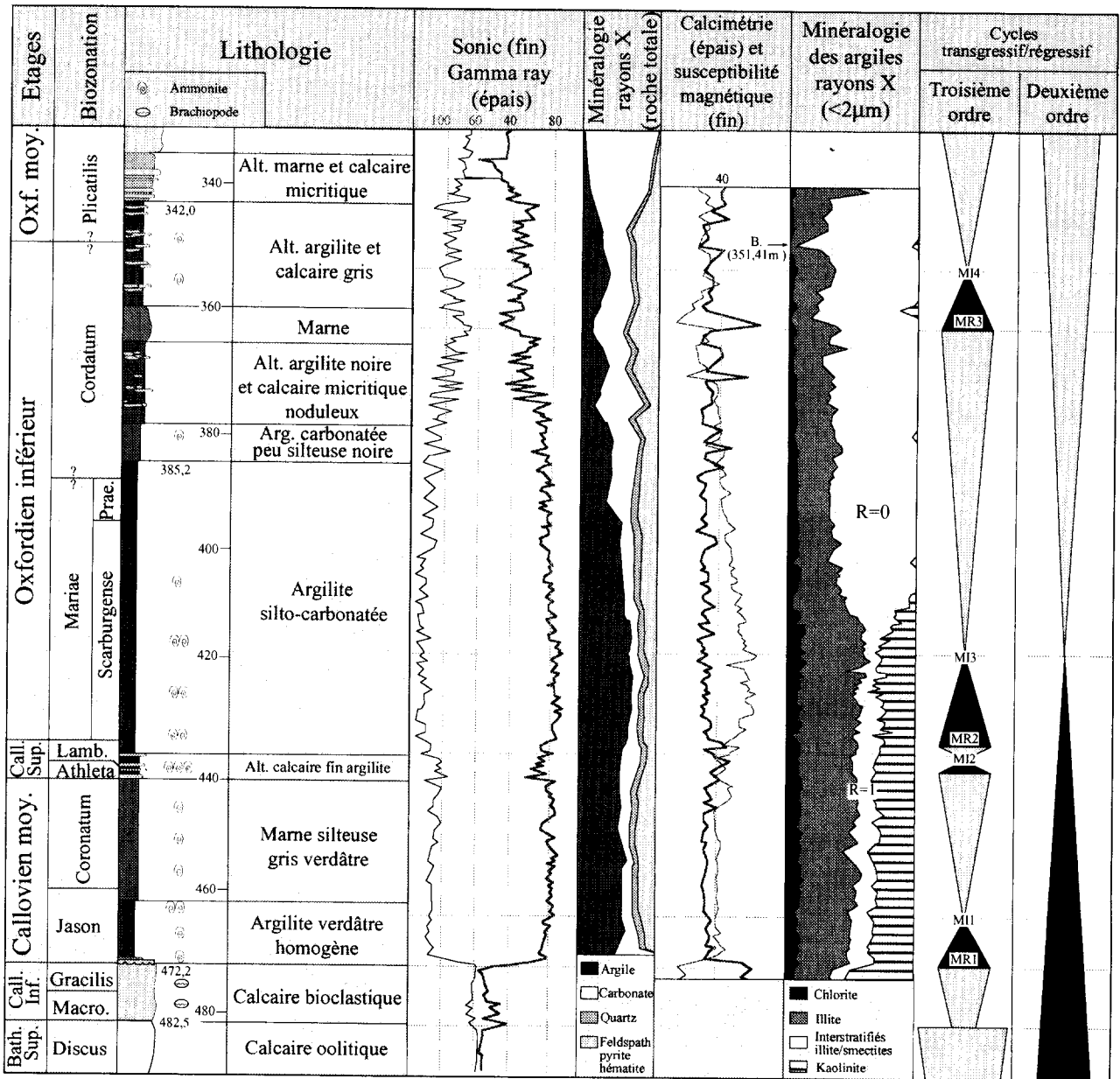


Figure 2. Découpage biostratigraphique et lithologique du Bathonien supérieur à l'Oxfordien moyen du forage HTM 102. Comparaison du découpage séquentiel et des résultats minéralogiques. Les données diagrapiques et minéralogiques sur roche totale ont été acquises par l'Andra (B = bentonite, MI = maximum d'inondation, MR = maximum de régression).

Biostratigraphy and lithology of Upper Bathonian to Middle Oxfordian of HTM 102 borehole. Comparison between sequence stratigraphy and mineralogy. Logging data and bulk mineralogy are from ANDRA (B = bentonite, MI = maximum flooding, MR = maximum regression).

### 3. Diagenèse d'enfouissement ou changement paléogéographique ?

L'influence de la diagenèse d'enfouissement sur la minéralogie des argiles se marque habituellement par une diminution progressive des minéraux gonflants avec la profondeur (passage d'interstratifiés I/S R = 0 à des interstratifiés I/S R = 1), suivi par la diminution de la kaolinite compensée par l'augmentation de l'illite et de la chlorite (Chamley, 1989 ; Lanson et Meunier, 1995). Le changement minéralogique majeur de la zone à Mariae pourrait

donc s'interpréter comme n'étant que le résultat d'une augmentation de température, liée à l'enfouissement. Toutefois ce changement peut aussi refléter une modification importante des sources détritiques.

En effet, les études réalisées sur la matière organique révèlent : 1) la présence de biomarqueurs insaturés ; 2) une matière organique peu mature, par l'analyse des fractions aromatiques et saturées (Élie et Landais, 1997). L'étude des inclusions fluides permet d'estimer des températures atteintes au cours de l'enfouissement inférieures à 50 °C (Cathelineau et al., 1997). Comme la transition

minéralogique s'effectue brutalement — verticalement (sur une dizaine de mètres) et temporellement (au sein d'une même sous-zone d'ammonite, voire même d'un seul horizon) — cela semble peu compatible avec une évolution diagénétique, qui serait marquée par un caractère continu et une diminution progressive du pourcentage de feuilletés smectitiques. L'observation des microfaciès ne montre pas de dolomite de texture hypidiotopique à xénotopique, ni de dolomite baroque. L'étude d'échantillons au microscope électronique à balayage ne révèle aucune figure caractéristique d'un changement minéralogique lié à des conditions de pression et de température élevées. Seuls des phénomènes de compaction provoquant un litage flexueux et une réduction de la porosité sont observables. De plus, sur d'autres forages, distants seulement de quelques kilomètres, le changement minéralogique s'observe à des profondeurs différentes, mais se corrèle systématiquement à une surface d'inondation maximale, parfaitement caractérisée du point de vue sédimentaire et bien calée biostratigraphiquement. Ce changement, isochrone, semble donc indépendant de l'enfouissement.

En résumé, l'ensemble de ces observations montre que le changement minéralogique résulte plutôt d'une modification des sources détritiques, sans doute liée à un changement paléogéographique majeur, que d'une diagenèse d'enfouissement.

#### 4. Origine du changement minéralogique

L'interprétation des données diagraphiques, des faciès et des microfaciès du Callovien moyen à l'Oxfordien moyen permet d'individualiser quatre cycles transgressifs/régressifs de troisième ordre, ou regroupements de troisième ordre, dont les surfaces d'inondation maximale, notées MI1, MI2, MI3 et MI4, se placent respectivement dans les zones à Jason, Lamberti, Mariae (sous-zone à Scarburgense) et Cordatum (*figure 2*).

Le changement minéralogique majeur, marqué par l'augmentation des smectites, correspond au maximum d'inondation MI3 dans la zone à Mariae. Cette surface d'inondation maximale est généralement reconnue à l'échelle de l'Europe de l'Ouest (Hardenbol et al., 1998). Dans le bassin de Paris, un changement minéralogique comparable est enregistré dans les formations oxfordiennes déposées sur la bordure armoricaine (Dugué, 1991). Par contre, dans d'autres secteurs, comme le Boulonnais ou la bordure ardennaise, les changements minéralogiques sont moins marqués (Decommer et Chamley, 1981 ; Debrabant et al., 1992).

Dans le domaine Atlantique nord, les plus anciens sédiments connus, datés du Callovien (Ogg et al., 1983), sont riches en illites, issues de l'érosion active des marges de l'océan, en voie d'ouverture à cette époque. L'illite est rapidement relayée, au cours de l'Oxfordien, par les minéraux smectitiques, qui indiqueraient une stabilisation

des marges et une érosion plus superficielle (Chamley, 1989). Cette évolution minéralogique rappelle donc celle enregistrée au site HTM 102, si on interprète l'augmentation des smectites aux dépens de l'illite et de la kaolinite comme une conséquence de la diminution d'intensité de l'érosion sur les continents. La correspondance entre ce changement minéralogique et une période d'inondation maximale s'accorde avec la diminution de l'intensité de l'érosion résultant de l'élévation du niveau marin (pic de transgression de deuxième ordre).

Selon Dugué (1991), un apport occidental de smectite serait guidé par le sillon marneux péri-armoricain, situé entre le futur océan Atlantique nord et le bassin de Paris. Cette première (?) communication, qui correspond à un phénomène majeur dans l'histoire de la plate-forme ouest-européenne, a pu être favorisée par la période de haut niveau marin. On peut donc envisager l'existence de deux sources d'apports : 1) un apport atlantique, caractérisé par les smectites ou interstratifiés I/S de type  $R = 0$ , de l'Oxfordien inférieur à l'Oxfordien moyen ; 2) un apport, plus proximal, de kaolinite et/ou d'illite, en provenance probable des massifs Londres–Brabant et armoricain, en partie émergés.

#### 5. Mise en évidence d'un niveau de bentonite au passage Oxfordien inférieur — Oxfordien moyen

Un niveau centimétrique, situé à la cote 351,42 m du forage HTM 102, entre les zones à Cordatum et Plicatilis, soit à la limite Oxfordien inférieur – Oxfordien moyen, présente une fraction argileuse, constituée essentiellement de smectites dioctaédriques. L'observation de frottis du sédiment révèle la présence de minéraux d'origine volcanique : zircons de type S20 (Pupin, 1976), présentant parfois des inclusions vitreuses, apatite, quartz automorphes, minéraux ferro-magnésiens. Le caractère singulier du niveau étudié, sa richesse en smectites et en minéraux d'origine volcanique, indique qu'il s'agit d'une bentonite. Les smectites proviendraient de l'altération de verres volcaniques, non identifiés en frottis par suite de leur altération sous-marine. Ces smectites présentent une courbe d'analyse thermique différentielle identique à celle des smectites d'origine volcanique, identifiées dans le Turonien du Nord de la France (Deconinck et al., 1991 ; Deconinck et Chamley, 1995). Par ailleurs, nous avons pu identifier un niveau présentant les mêmes caractéristiques dans les Terres Noires subalpines, exactement à la limite Oxfordien inférieur – Oxfordien moyen, à proximité d'Oze (Hautes-Alpes), confirmant ainsi l'extension géographique importante propre aux niveaux bentonitiques. Ce niveau, qui vient s'ajouter à ceux déjà identifiés dans l'Aptien du bassin du Sud-Est (Dauphin et al., 1998), constitue donc un repère isochrone dans le bassin de Paris et le bassin du Sud-Est, qui devrait permettre de proposer un point d'ancrage radiochronologique pour la limite Oxfordien inférieur–moyen. En Europe occidentale, au

Jurassique moyen et supérieur, les indices d'activité volcanique enregistrés sont rares. Des niveaux de bentonites ont été signalés en Grande Bretagne, dans le Bathonien terminal de la région de Bath (Somerset ; Jeans et al., 1977) et du Callovien au Kimméridgien dans l'île de Skye en Écosse (Knox, 1977). Par ailleurs, des niveaux de bentonite ont été signalés dans l'Ammonitico Rosso supérieur (de l'Oxfordien supérieur au Tithonien) des Alpes méridionales, dans le Nord de l'Italie (Bernoulli et Peters, 1970). La localisation des centres volcaniques actifs est probablement à rechercher dans la partie centrale de la mer du Nord (Smith et Ritchie, 1993), qui se caractérise à cette période par un régime extensif.

## 6. Conclusion

L'étude à haute résolution des sédiments argileux du Callovien moyen à l'Oxfordien moyen révèle l'existence, à la base de l'Oxfordien inférieur, d'un changement minéralogique majeur (relais de l'illite et de la kaolinite par des I/S de type  $R = 0$ ). Ce changement, qui coïncide avec une surface d'inondation maximale, se produit sur une dizaine de mètres, au sein de la même sous-zone d'ammonite (sous-zone à Scarburgense) de l'Oxfordien basal. Il reflète

## 7. Références

Bernoulli D. et Peters T. 1970. Traces of rhyolitic-trachytic volcanism in the Upper Jurassic of the Southern Alps, *Eclogae geol. Helv.*, 63/2, 609–621

Cathelineau M., Ayt Ougoudal M., Elie M. et Ruck R. 1997. Mise en évidence d'une diagenèse basse température dans les séries mésozoïques du site Est : une étude des inclusions fluides et de la matière organique, in : *Journées scientifiques de l'Andra, Communications et posters*, Bar-le-Duc, 13

Chamley H. 1989. *Clay sedimentology*, Springer Verlag, Berlin, 623 p.

Dauphin L., Beaudoin B., Fries G. et Zimmerle W. 1998. Corrélations de cendres volcaniques (bentonites) aptiennes, dans le bassin du Sud-Est de la France et en Europe du Nord, *Publication ASF*, 30, Paris, 25–26

Debrabant P., Chamley H., Deconinck J.-F., Recourt P. et Trouiller A. 1992. Clay sedimentology, mineralogy and chemistry of Mesozoic sediments drilled in the Northern Paris Basin, *Scientific Drilling*, 3, 138–152

Decommer H. et Chamley H. 1981. Environnements mésozoïques du Nord de la France, d'après les données d'argiles et du palynoplancton, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 293, série II, 695–698

Deconinck J.-F., Amedro F., Desprairies A., Juignet P. et Robaszynski F. 1991. Niveaux repères de bentonites d'origine volcanique dans les craies du Turonien du Boulonnais et de Haute-Normandie, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 312, série II, 897–903

Deconinck J.-F. et Chamley H. 1995. Diversity of smectite origins in Late Cretaceous sediments: example of chalks from Northern France, *Clay Miner.*, 30, 365–379

Dercourt J., Zonenshain P., Ricou L.-E., Kazmin G.V., Le Pichon X., Knipper A.L., Grandjacquet C., Sborshchikov I.M., Boulain J., Sorokhtin O., Ceysant J., Lepvrier C., Biju-Duval B., Sibuet J.-C., Savostin L.-A., Westphal M. et Lauer J.-P. 1985. Présentation de 9 cartes paléo-

une modification importante des sources détritiques, et non pas une évolution diagénétique des minéraux argileux, liée à l'enfouissement.

L'arrivée massive de smectites, à l'Oxfordien inférieur, pourrait traduire la première mise en communication de l'océan Atlantique en voie d'ouverture avec le bassin de Paris, à l'occasion d'une montée importante du niveau marin. Deux sources d'apports terrigènes sont envisagées : une source atlantique, pourvoyeuse de minéraux smectitiques, et une source plus proximale, liée à l'érosion des massifs restés émergés, situés en périphérie du bassin de Paris.

Un niveau de bentonite identifié au passage Oxfordien inférieur – Oxfordien moyen, dans l'Est du bassin de Paris et dans le bassin subalpin, constitue un repère isochrone, qui devrait permettre d'établir des corrélations à grande distance et un calibrage radiochronologique du passage Oxfordien inférieur – Oxfordien moyen.

Ainsi, les deux événements, changement minéralogique à l'Oxfordien inférieur et présence de bentonite au passage Oxfordien inférieur–moyen, seraient liés à l'évolution géodynamique du Nord-Ouest de l'Europe, respectivement première connexion entre Atlantique et bassin de Paris et extension en mer du Nord.

géographiques au 1/20 000 000° s'étendant de l'Atlantique au Pamir pour la période du Lias à l'Actuel, *Bull. Soc. géol. France*, (8), 1, (5), 637–652

Dugué O. 1989. Géodynamique d'une bordure de massifs anciens – La bordure occidentale du bassin Anglo-parisien au Callovo-Oxfordien – Pulsations épirogéniques et cycles eustatiques, *Thèse*, Université de Caen, 593 p. (déposée à la Soc. géol. France)

Dugué O. 1991. Comportement d'une bordure de massifs anciens et cortèges de minéraux argileux : l'exemple de la bordure occidentale du bassin Anglo-Parisien au Callovo-Oxfordien, *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.*, 81, 323–346

Élie M. et Landais P. 1997. Caractérisation et comportement thermique des matières organiques du Callovo-Oxfordien dans les forages de l'Est, in : *Journées scientifiques de l'Andra, Communications et posters*, Bar-le-Duc, 11

Floquet M., Laurin B., Laville P., Marchand D., Menot J.-C., Pascal A. et Thierry J. 1989. Les systèmes sédimentaires bourguignons d'âge Bathonien terminal – Callovien, *Bull. Centres Rech. Exp. Prod. Elf Aquitaine*, 13, (1), 133–165

Hardenbol J., Thierry J., Farley M.B., Jacquin T., Graciansky P.-C. de, Vail P.-R. 1998. Mesozoic and Cenozoic Sequence Chronostratigraphic framework of European basins (Sequence Chronostratigraphy/Biochronostratigraphy), in : Graciansky P.-C. de, Hardenbol J., Jacquin T. et Vail P. (éds), *Mesozoic and Cenozoic Sequence Stratigraphy of European basins*, SEPM (*J. Sediment. Geol. Edit.*), Spec. Publ., 60, 3–13 and 763–782

Holtzapffel T. 1985. Les minéraux argileux. Préparation. Analyse diffractométrique et détermination, *Soc. Géol. Nord*, Publ. n° 12, 136 p.

Jeans C.V., Merriman R.J. et Mitchell J.G. 1977. Origin of Middle Jurassic and Lower Cretaceous Fuller's earth in England, *Clay Miner.*, 12, 11–44

Knox R.W. 1977. Upper Jurassic pyroclastic rocks in Skye, West Scotland, *Nature*, 265, 323–324

Lanson B. et Meunier A. 1995. Transformation des interstratifiés ordonnés ( $R > 1$ ) Illite-Smectite en Illite dans les séries diagénétiques.

État des connaissances et perspectives, *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf. Aquitaine*, 19/1, 149–165

Moore D.M. et Reynolds R.C. 1989. *X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals*, Oxford University Press, 322 p.

Ogg J.G., Robertson A.H.F. et Jansa L. 1983. Jurassic sedimentation history of site 534 (western North Atlantic) and the Atlantic–Tethys Seaway, in : Sheridan R.E. et Gradstien F.M. (éds), *Init. Repts. Deep Sea Drill. Proj. (US Gov. Printing Office)*, 76, 829–884

Pupin J.-P. 1976. Signification des caractères morphologiques du zircon commun des roches en pétrologie. Base de la méthode typologique. Application, *Thèse*, Université de Nice, 394 p. (déposée à la Soc. géol. France)

Rioult M., Dugué O., Jan Du Chêne R., Ponsot C., Fily G., Moron J.-M. et Vail P.-R. 1991. Outcrop sequence stratigraphy of the Anglo-Paris basin, Middle to Upper Jurassic (Normandy, Maine, Dorset), *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine*, 15/1, 101–194

Smith K. et Ritchie J.D. 1993. Jurassic volcanic centres in the

Central North Sea, in : Parker J.R. (éd.), *Petroleum Geology of Northwest Europe : Proceedings of the 4th conference*, London, 519–531

Thierry J. 1980a. Bathonien terminal – Callovien inférieur, Callovien moyen et supérieur (cartes de faciès et notice explicative), in : Enay R. et Mangold C. (éds), *Synthèse paléogéographique du Jurassique français par le Groupe français d'étude du Jurassique*, Docum., Lab., Géol. Lyon, H.S., 5, 210 p.

Thierry J. (coord.), Cariou E., Dubois P., Fily G., Gabilly J., Laurin B., Le Roux J., Lorenz J., Rioult M. et Yapaudjian L. 1980b. Jurassique Moyen, in : Megnien C. et Megnien F, *Synthèse géologique du bassin de Paris*, vol. II : Stratigraphie et paléogéographie, Mém. BRGM, 101, 125–193

Thierry J. 1988. Provincialisme et /ou Ecologie des Ammonites du Callovien en France, in : Wiedmann J. et Kullmann J. (éds), *Cephalopods, Present and Past, 2nd Symp. on Cephalopods*, Tübingen, Schweizer. Verlag, Stuttgart, 387–402

Ziegler P.A. 1990. *Geological Atlas of Western and Central Europe*, Shell, Den Haag and Elsevier, Amsterdam