

Caractérisation et interprétation de cycles géochimiques sur la plate-forme bourguignonne (France) au Bajocien–Bathonien

Characterisation and interpretation of geochemical cycles on the carbonate-shelf of Burgundy during Bajocian–Bathonian

Benoît VINCENT, Laurent EMMANUEL, Jean-Paul LOREAU et Jacques THIERRY

Université de Bourgogne, Centre des sciences de la Terre et UMR-CNRS Paléontologie analytique et géologie sédimentaire, 6, bd Gabriel, 21000 Dijon, France

RÉSUMÉ

Un forage (Ravières, Yonne ; Sud-Est du Bassin de Paris, France), dans les sédiments de plate-forme carbonatée du Bajocien-Bathonien, permet une analyse sédimentologique et séquentielle couplée à des analyses géochimiques (Sr, Mg, Fe, Mn et $\delta^{18}\text{O}$). Grâce au signal du strontium, des cycles géochimiques corrélables aux cycles sédimentaires de transgression-régression de faciès sont mis en évidence. Cependant, l'interprétation des cycles géochimiques nécessite un changement de référentiel par rapport aux travaux jusqu'ici réalisés en domaine de bassin.

Mots clés : *Cycles géochimiques, Cycles sédimentaires, Plate-forme carbonatée, Bajocien, Bathonien, Bourgogne, Bassin de Paris, France*

ABSTRACT

A sedimentological and facies sequence study, coupled with geochemical analyses (Sr, Mg, Fe, Mn and $\delta^{18}\text{O}$) was made on a core (Ravières, Yonne; south-east Paris Basin, France) in the Bajocian–Bathonian carbonate-shelf sedimentary succession. By studying the strontium variations, geochemical cycles can be correlated to transgressive–regressive sedimentary cycles. However, the interpretation of the geochemical cycles must refer to a different standard than the studies generally realised in basin environments.

Keywords: *Geochemical cycles, Sedimentary cycles, Carbonate-shelf, Bajocian, Bathonian, Burgundy, Paris Basin, France*

Abridged version (see p. 788)

I. Introduction

La chiostratigraphie est moins bien développée dans les environnements de plate-forme que dans ceux de bassin (Renard, 1984 ; Emmanuel, 1993 ; Corbin, 1994), car l'enregistrement sédimentaire est plus discontinu et les données géochimiques y sont le reflet de signaux différents. Le but de cette étude est de dégager la part due au

signal original (conditions chimiques de l'océan) et de la confronter à une analyse sédimentologique et séquentielle précise.

L'exemple traité est un forage (LCV/ROCAMAT-IFP) réalisé sur le site carrier de Ravières (Yonne) complété à la base par la coupe de Pouillenay (Côte d'Or ; figure 1).

L'intervalle stratigraphique concerné (figure 2) comprend six formations correspondant à la fin de l'installa-

Note présentée par Jean Dercourt

Note remise le 26 mai 1997, acceptée après révision le 4 août 1997

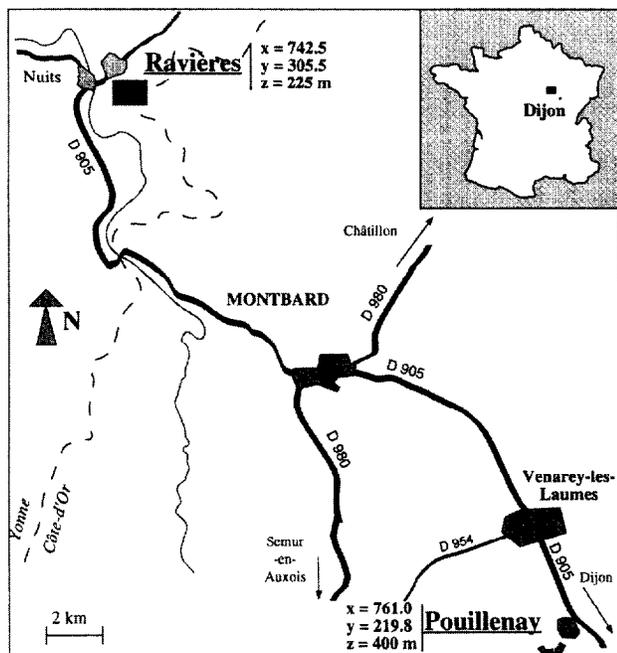


Figure 1. Localisation géographique du sondage de Ravières et de la coupe de Pouillenay.

Geographical location of the Ravières core and the Pouillenay section.

tion de la plate-forme bajocienne et à son ennoyage au cours du Bajocien supérieur/Bathonien inférieur, puis à la réinstallation d'une nouvelle plate-forme carbonatée au Bathonien moyen-supérieur. Le cadre biostratigraphique est bien défini par la présence d'ammonites caractéristiques (Thierry et al., 1983 ; Durllet, 1996) et d'associations de brachiopodes caractérisant des niveaux repères corrélés à l'échelle standard des ammonites (Garcia et al., 1996).

II. Analyse sédimentologique et séquentielle

Une analyse séquentielle (*sensu* Homewood et al., 1992) a été réalisée à partir d'une étude sédimentologique fine. La caractérisation des environnements de dépôt successifs est établie grâce à la reconnaissance de 26 unités lithologiques (figure 2).

Dans les différentes formations régionales, les principaux milieux de sédimentation s'étagent depuis un pôle à tendance émergitive jusqu'à un pôle subtidal profond. L'émergence est enregistrée par les fonds durcis dans les Calcaires à Nubéculaires et les Calcaires grumeleux (Durllet, 1996 ; Durllet et Loreau, 1996) et par les *fenestrae* des milieux supratidaux et intertidaux du Calcaire de Comblanchien. Des milieux infratidaux sont indiqués par des laminations en chevrons dans l'Oolithe blanche. Des milieux subtidaux peu profonds sont représentés par des *wackestones-packstones* à oncoïdes dans le calcaire de Comblanchien, et des faciès à oôides et gravelles, pauvres

en faune, dans l'Oolithe blanche. Des milieux subtidaux moyens sont indiqués par des dunes hydrauliques (Berné et al., 1989) dans l'Oolithe blanche. Enfin, les milieux subtidaux profonds sont représentés par un *grainstone* oolithique fin, bioturbé, à lits de brachiopodes et de polypiers dans l'Oolithe blanche, par un *micropackstone* riche en faune pélagique dans le Calcaire de Sermizelles et par des marnes riches en faune, dont de nombreuses ammonites dans les marnes à *Ostrea acuminata*.

La succession verticale des faciès a permis de pointer chacun d'eux sur un modèle local de dépôt et de caractériser sept cycles de transgression-régression de faciès, interprétés comme étant du troisième ordre (figure 2). Les six premiers s'inscrivent dans un cycle de second ordre compris entre deux maxima de régression ; l'un, au toit des calcaires à Nubéculaires (zone à Humphriesianum, Bajocien inférieur), est appelé « discontinuité vésulienne » (Durllet, 1996), et souligne une lacune de la zone à *Subfurcatum* (Bajocien supérieur) ; l'autre est situé au sein du Calcaire de Comblanchien (Bathonien supérieur, zone à *Orbis* ou zone à *Discus*). Le maximum d'approfondissement est localisé soit dans le Calcaire de Sermizelles, soit dans les Marnes à *Ostrea acuminata* (zone à Parkinsoni, Bajocien terminal).

III. Approche géochimique

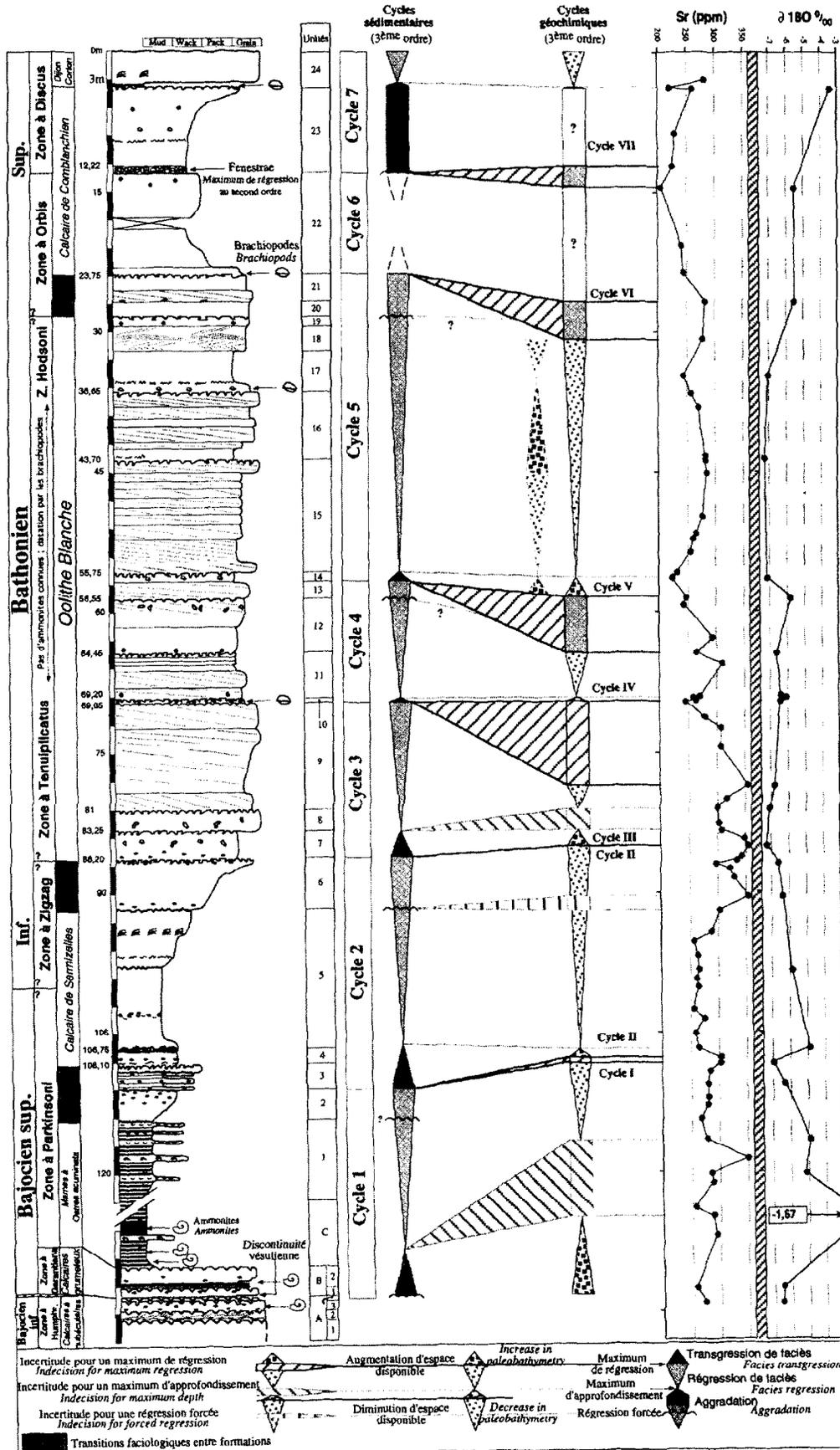
1. Description des variations géochimiques

L'échantillonnage destiné aux analyses géochimiques élémentaires (Sr, Mn, Fe et Mg) et isotopiques ($\delta^{18}\text{O}$) sur roche totale tient compte du découpage lithostratigraphique (formations). Le dosage est réalisé après mise en solution de la fraction carbonatée et après planification de la concentration en calcium des échantillons.

La concentration en Sr reste stable dans les marnes à *Ostrea acuminata* et dans le Calcaire de Sermizelles. Elle augmente ensuite jusqu'à la base de l'Oolithe blanche, puis diminue jusque dans la partie moyenne du Calcaire de Comblanchien, pour augmenter de nouveau vers son sommet et dans la Pierre de Dijon-Corton ; en outre, apparaissent des variations plus ou moins cycliques à plus petite échelle (figure 3).

Figure 2. Lithostratigraphie, biostratigraphie, chronostratigraphie, cycles géochimiques et cycles sédimentaires de la série Bajocien-Bathonien dans le Sud-Est du Bassin de Paris (localités de Ravières et Pouillenay). Les interprétations géochimiques et sédimentologiques en terme de variations de l'espace disponible montrent une bonne corrélation entre les deux types de cycles, malgré la présence de zones d'incertitudes du positionnement géochimique de certaines surfaces.

Lithostratigraphy, biostratigraphy, chronostratigraphy, geochemical cycles and sedimentary cycles of the Bajocian-Bathonian sediments in south-east Paris Basin (Ravières and Pouillenay localities). The two geochemical and sedimentological interpretations, in terms of palaeobathymetry variations, show a good correlation between the two types of cycles, in spite of some difficulties defining the geochemical location of several surfaces.



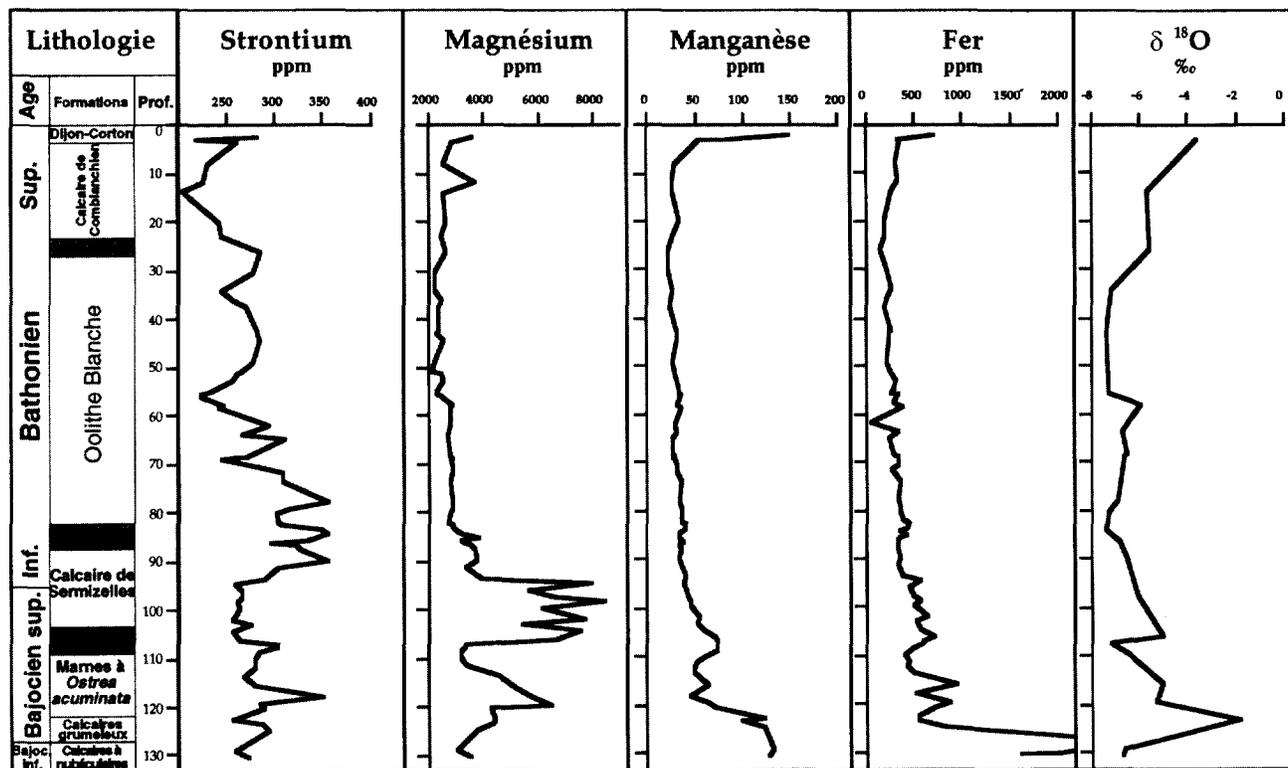


Figure 3. Variations de la teneur des différents éléments étudiés. Les secteurs grisés de la colonne lithologique correspondent aux zones de transitions faciologiques entre les formations.

Content variations of the several studied elements. The shaded areas of the lithological column correspond to the facies transitions between the formations.

Le $\delta^{18}\text{O}$ montre des variations dans une évolution à tendance décroissante, depuis les marnes à *Ostrea acuminata* jusqu'à la base de l'Oolithe blanche. Les valeurs, d'abord stables jusqu'à la transition Oolithe blanche - Calcaire de Comblanchien, augmentent progressivement jusqu'au sommet de ce dernier.

Les teneurs en Fe et Mn ont des évolutions beaucoup moins complexes. De la base de la série jusqu'à la transition Calcaire de Sermizelles-Oolithe blanche, elles présentent une décroissance rapide mais progressive. Cette tendance s'amortit dès la base de l'Oolithe blanche, puis les teneurs deviennent stables jusqu'à la transition Oolithe blanche - Calcaire de Comblanchien. Enfin, au sommet, la Pierre de Dijon-Corton est marquée par une augmentation importante des teneurs.

L'évolution des teneurs en Mg montre de très fortes valeurs dans le Calcaire de Sermizelles, vraisemblablement dues à une faible dolomitisation (de l'ordre de 5 %). Les autres formations présentent aussi des variations en Mg pouvant être le reflet de l'évolution diagénétique et minéralogique de la série ; il en a été tenu compte dans l'interprétation géochimique.

2. Interprétation et signification des variations géochimiques

L'existence de variations notables de la concentration en Sr, dans une formation à lithologie relativement stable comme l'Oolithe blanche, montre que cet élément ne varie pas uniquement en fonction des changements lithologiques (Walgenwitz et al., 1992).

Les variations géochimiques observées dans une série sédimentaire caractérisent des événements géochimiques qui coïncident avec des cycles déterminés en sédimentologie. Dans la série étudiée, les différents accidents (pics positifs ou négatifs) de l'évolution des concentrations en Sr marquent aussi les cycles sédimentaires précédemment définis (figure 2). Il existe donc une relation entre les variations de milieu (illustrées par les cycles sédimentaires) et les variations de la concentration en Sr. En effet, cet élément est considéré comme indicateur paléoenvironnemental dans les milieux peu profonds (Veizer et al., 1971) et dans les domaines de plate-forme interne (Renard, 1975).

Généralement, dans les carbonates néritiques, le Sr varie en fonction directe de la salinité du milieu de dépôt

(Renard, 1975) : les diminutions de concentration en Sr soulignent des périodes de dessalure dues à la proximité d'aires continentales avec influence d'eau douce ; inversement, les augmentations caractérisent une influence marine, plus saline.

Dans le cas présent, l'analyse sédimentaire conduit à une interprétation opposée de l'analyse géochimique, sauf au niveau de la « discontinuité vésulienne » (Bajocien inférieur/Bajocien supérieur) et dans le Calcaire de Comblanchien (Bathonien supérieur). Cette exception est liée au milieu de dépôt. En effet, au cours de ces deux épisodes, la présence d'émersions et d'influence d'eau douce est démontrée. Pour la « discontinuité vésulienne », il s'agit d'indices diagénétiques d'émersions (*older banded cement* météoriques recoupés ; Durlet, 1996) et pour le Calcaire de Comblanchien, d'indices sédimentologiques (*fenestreae* et argiles vertes à charophytes). Dans cet environnement, les diminutions de la concentration en Sr correspondraient à des dessalures.

Dans les autres formations, aucun indice d'émersion n'a été observé et les variations des teneurs en Sr ne relèvent pas de dessalures.

Dans l'Oolithe blanche (Bathonien moyen), les plus fortes concentrations correspondent aux corps dunaires oolithiques et les plus faibles aux niveaux bioturbés riches en brachiopodes, indicateurs des milieux de plus grandes profondeurs relatives (Garcia et al., 1996). Cela suggère que les faibles teneurs caractériseraient alors une nette influence marine, alors que les plus fortes seraient considérées comme des épisodes de sursalures relatives. Une diminution d'espace disponible entraîne sans doute un confinement du milieu de sédimentation et/ou une sursaturation par augmentation de l'évaporation sur une tranche d'eau faible, induisant une sursalure du milieu de dépôt. Dans l'Oolithe blanche, une sursaturation des eaux est vraisemblable dans les environnements très peu profonds où se forment les dunes hydrauliques.

Dans les marnes à *Ostrea acuminata* (Bajocien supérieur) et le Calcaire de Sermizelles (Bajocien supérieur-Bathonien inférieur), la tranche d'eau est importante, les sursalures n'existent pas (courbe du Sr assez homogène). Dans ces deux formations, où la diagenèse semble peu importante, et malgré la faible quantité de mesures, les variations du $\delta^{18}\text{O}$ semblent coïncider avec les limites sédimentologiques et les variations secondaires de Sr. Cet isotope semble jouer alors un rôle de paléothermomètre (l'évolution du $\delta^{18}\text{O}$ est fonction inverse des paléotempératures).

Dans la partie supérieure de la série, en particulier dans la moitié supérieure de l'Oolithe blanche, la diversité et l'abondance des ciments, ainsi qu'une phase de dolomitisation/dédolomitisation mésogénétique (Purser, 1975), indiquent que la diagenèse a été poussée. Le $\delta^{18}\text{O}$, très sensible à l'effet diagénétique, est difficilement utilisable et ne semble donc garder aucun souvenir d'un signal originel ; les valeurs isotopiques sont très stables et très faibles, de l'ordre de -7‰ . Une diminution similaire de

toutes les valeurs du $\delta^{18}\text{O}$ dans des séries oolithiques avait déjà été rapportée par Walgenwitz et al. (1992) et avait été attribuée à un rééquilibrage thermique.

Il est important de noter que l'utilisation des isotopes n'a pas ici le même intérêt que pour certaines études comme celles portant, par exemple, sur la caractérisation d'événements anoxiques (Valladares et al., 1996).

Le Fe et le Mn semblent évoluer parallèlement à la lithologie, ce qui pourrait expliquer les fortes concentrations observées à la base de la pile sédimentaire, dans les marnes à *O. acuminata*. Les fortes valeurs relevées dans les Calcaires grumeleux sont, quant à elles, certainement liées à une dégradation de paléosols ferrallitiques associés à la discontinuité vésulienne (Durlet, communication orale).

Enfin, l'utilisation du Mg en vue d'une interprétation séquentielle géochimique paraît réduite, car cet élément, très sensible aux différentes transformations minéralogiques (calcite hautement magnésienne vers calcite faiblement magnésienne), caractérise les modifications diagénétiques subies par la série. Comme nous l'avons dit précédemment, l'importance des phénomènes de dolomitisation-dédolomitisation tardive (Purser, 1975) indique une forte diagenèse mésogénétique, qui altère considérablement un éventuel signal géochimique du Mg.

3. Interprétation des cycles géochimiques

Grâce à l'évolution des teneurs en Sr dont l'interprétation est conduite en considérant les données sédimentologiques et diagénétiques, sont reconnus sept cycles géochimiques (figure 2). Les concentrations les plus fortes en Sr caractérisent les maximums de régression (indice de sursalure) et les concentrations les plus faibles, les maximums d'approfondissement (influence marine). De plus, la courbe de variation de Sr montre souvent une diminution de la concentration au niveau de surfaces bioturbées. Ces bioturbations, marquant des périodes d'approfondissements d'ordre inférieur, il semble que ces variations de concentration puissent traduire des variations d'espace disponible à l'échelle de la paraséquence. Rappelons qu'au sein du Calcaire de Comblanchien, il convient d'inverser les interprétations, puisque des indices de milieux saumâtres sont connus à l'échelle de la plate-forme.

À la base de la série, les valeurs isotopiques les plus fortes correspondent aux maximums d'approfondissement ($\delta^{18}\text{O}$ plus élevé = température plus faible = environnement plus profond) et les plus basses aux maximums de régression.

La localisation des maximums de régression et d'approfondissement est parfois rendue délicate à cause du pas d'échantillonnage utilisé (notamment pour $\delta^{18}\text{O}$), ainsi que de la difficulté d'appréciation de l'influence diagénétique au niveau de certaines surfaces.

IV. Conclusions

L'étude des variations des teneurs en Sr, Mg, Mn, Fe, et des rapports isotopiques ($\delta^{18}\text{O}$) dans les carbonates de plate-forme à des fins d'analyse séquentielle est encore peu

développée en géochimie sédimentaire. Dans les résultats présentés ici, la mise en évidence de relations entre les variations de concentration en Sr et les paléosalinités permet un découpage en cycles géochimiques cohérents avec une analyse séquentielle de type sédimentaire. Les teneurs en Sr varient en fonction directe de la salinité des milieux de dépôt (Renard, 1975) : lorsque le milieu reste exclusivement marin (Marnes à *Ostrea acuminata*, Calcaire de Sermizelles et Oolithe blanche), les fortes teneurs correspondent à des périodes de sursalure et coïncident avec des maximums de régression (diminution d'espace disponible) ; les faibles teneurs représentent la référence marine et coïncident avec les maximums d'approfondissement (augmentation de l'espace disponible). Lorsque des indices d'émersion sont décelés (Calcaires à Nubéc-

lares, Calcaires grumeleux et Calcaire de Comblanchien), les faibles teneurs représentent des dessalures (présence d'eau douce) et la proximité d'aires temporairement exon-dées (maximum de régression). Les fortes teneurs marquent la référence marine, dans ce cas globalement plus saline (maximum d'approfondissement).

Sur les plates-formes carbonatées, la géochimie apparaît donc comme un outil stratigraphique utilisable dans certaines conditions. Mais, il est fondamental que le déchiffrement de l'enregistrement géochimique ne soit pas dissocié de la caractérisation précise des paléoenvironnements, dont les changements successifs interviennent de manière prépondérante sur les concentrations en divers éléments.

ABRIDGED VERSION

Introduction

Chemical stratigraphy is less developed in shelf environments than in basin ones because of the variations in origin and significance of the geochemical signal and because of a more discontinuous sedimentation. This study on a core taken from Ravières, together with a section at Pouillenay quarry (figure 1), is aimed at emphasising the study of the original conditions (sea water chemistry) recording the geochemical signal and comparing it to a facies sequence analysis.

Sedimentological and facies sequence analysis

The facies of the Ravières core record seven transgressive--regressive sedimentary cycles (assumed to be third order; figure 3) which correspond to a second order cycle.

Geochemical approach

1. Variation descriptions (figure 3)

Sr is the only element that shows cyclic variations at a small scale all over the sedimentary succession. Moreover, such variations correspond to the different sedimentary cycles previously determined (figure 3). There is a good correlation between environmental variations (recorded by sedimentary cycles) and variations of Sr content. Therefore, Sr seems to be the most useful element for geochemical sequence analysis.

2. Interpretation and significance

Usually, weak Sr concentrations indicate the influence of freshwater, and therefore weak salinity; this is due to the close proximity of continental areas. Such an interpretation is applicable to the Calcaire à Nubéculaires-Calcaire grumeleux and the Calcaire de Comblanchien, where freshwater influence is clearly demonstrated.

In the other formations, because of the absence of emersion data another interpretation is needed. In the Oolithe blanche, low Sr contents correspond to bioturbated levels with brachiopod accumulations, which indicate relatively greater depth environments; this is not in agreement with the above interpretation. Such weak Sr concentrations are now the marine reference whereas strong concentrations are linked to periods of high salinity due to the decrease in paleobathymetry (and increase in evaporation). In the Calcaires de Sermizelles and the Marnes à *Ostrea acuminata*, depositional environments are deeper. Increases in relative paleosalinity are less clearly observed and Sr contents are steady.

$\delta^{18}\text{O}$ is used as a paleothermometer at the base of the series where diagenesis is less important (Calcaires de Sermizelles and Marnes à *O. acuminata*). In this series, variations in iron and manganese contents are essentially linked to lithologic variations. Finally, Mg is too dependent on late diagenetic events (dolomitisation and dedolomitisation) to be used for geochemical sequence analysis.

3. Geochemical cycles

Based on the previous results, in the Marnes à *Ostrea acuminata*, Calcaires de Sermizelles and Oolithe blanche, high Sr concentrations correspond to maximum regressions (increase in paleosalinity) and weak ones to maximum depths (marine reference). In the Calcaires de Sermizelles and Marnes à *Ostrea acuminata*, high $\delta^{18}\text{O}$ values correspond to maximum depths (lower temperatures) and low $\delta^{18}\text{O}$ to maximum regressions (higher temperatures).

At the base of the series and in the Calcaire de Comblanchien, interpretations of Sr contents must be reversed.

Therefore, Sr and $\delta^{18}\text{O}$ variations allow a geochemical sequence analysis framework: seven cycles of increasing--decreasing paleobathymetry (assumed to be third-order) are recognised.

The location of several maximum regressions (top of sedimentary cycle 3 and cycle 4) and maximum depths (within cycle 1) is difficult because of sampling and the effect of diagenesis on some surfaces.

Conclusion

The coupled study of facies sequence and geochemical analysis in carbonate-shelf sediments should be more developed in the future. The relationship between variations in strontium

contents and paleosalinities allows the recognition of geochemical cycles, which correspond to transgressive-regressive sedimentary cycles, despite some indecisive intervals.

Finally, as for basins, geochemical analysis in carbonate-shelf environments appears to be a powerful stratigraphic tool; but, more than for basins, its use requires a joint sedimentological study because changes in palaeoenvironments modify the significance of the chemical signal and therefore, the interpretation in terms of sequence analysis.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier Maurice Renard pour ses conseils judicieux dans l'interprétation des données géochimiques, et Eric et Karin Verrecchia pour la mise en forme de la version anglaise abrégée. Ce travail est une contribution au thème 3, « Enregistrement des phénomènes biologiques et sédimentaires », de l'U.M.R. CNRS 5561 de l'Université de Bourgogne-Dijon.

RÉFÉRENCES

- Berné S., Allen G., Auffret J.P., Chamley H., Durand J. et Weber O. 1989. Essai de synthèse sur les dunes hydrauliques géantes tidales actuelles, *Bull. Soc. géol. France*, 8, V, n° 6, 1145-1160
- Corbin J.C. 1994. Évolution géochimique du Jurassique du Sud-Est de la France : influence des variations du niveau marin et de la tectonique, *Mém. Sci. Terre*, 94-12, Univ. Pierre-et-Marie-Curie, Paris VI, 175 p.
- Durlet C. 1996. Apport de la diagenèse des discontinuités à l'étude paléoenvironnementale et séquentielle d'une plate-forme carbonatée. Exemple des calcaires aléno-bajociens du Seuil de Bourgogne, *Thèse 3^e cycle*, Univ. Bourgogne, 444 p. (Inédit)
- Durlet C. et Loreau J.P. 1996. Séquence diagénétique intrinsèque des surfaces durcies : mise en évidence de surfaces d'émergence et de leur ablation marine. Exemple de la plate-forme bourguignonne, Bajocien (France), *C. R. Acad. Sci. Paris*, 323, série IIa, 389-396
- Emmanuel L. 1993. Apport de la géochimie des carbonates à la stratigraphie séquentielle. Application au Crétacé inférieur du domaine vocontien, *Thèse 3^e cycle*, Univ. Pierre-et-Marie-Curie, Paris VI, 191 p. (Inédit)
- Garcia J.P., Laurin B. et Sambet G. 1996. Les associations de brachiopodes du Jurassique moyen du Bassin de Paris : une échelle biochronologique ponctuée de niveaux repères pour la contrainte des corrélations séquentielles à haute résolution, *Bull. Soc. géol. France*, 167 (3), 435-451
- Homewood P., Gulloucheau F., Eschard R. et Cross T.A. 1992. Corrélations haute résolution et stratigraphie génétique : une démarche intégrée, *Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, 16 (2), 357-381
- Jacquin T., Garcia J.P., Ponsot C., Thierry J. et Vail P.R. 1992. Séquences de dépôt et cycles régressifs/transgressifs en domaine marin carbonaté : exemple du Dogger du Bassin de Paris, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 315, série II, 353-362
- Purser B.H. 1975. Sédimentation et diagenèse précoce des séries du jurassique moyen de Bourgogne, *Thèse 3^e cycle*, Univ. Paris sud - Orsay, 384 p. (en dépôt à la Soc. géol. France)
- Renard M. 1975. Étude géochimique de la fraction carbonatée d'un faciès de bordure de dépôt gypseux (exemple du gypse ludien du Bassin de Paris), *Sedim. Geol.*, 13, 191-231
- Renard M. 1984. Géochimie des carbonates pélagiques : mise en évidence de la fluctuation de la composition des eaux océaniques depuis 140 Ma, essai de chemostratigraphie, *Doc. B.R.G.M.*, 85, 650 p.
- Thierry J., Bernard-Dumanois A. et Ingargiola J.F. 1983. Le Jurassique moyen entre Noyers-sur-Serein (Yonne) et Montbard (Côte d'Or) : précisions stratigraphiques et paléogéographiques, *Bull. Scient. Bourg.*, 36, 93-114
- Valladares I., Recio C. et Lendinez A. 1996. Sequence stratigraphy and stable isotopes ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$) of the late Cretaceous carbonate ramp of the western margin of the Iberian chain (Soria, Spain), *Sedim. Geol.*, 105, 11-28
- Veizer J., Demovic R. et Turan J. 1971. Possible use of strontium in sedimentary carbonate rocks as a palaeoenvironmental indicator, *Sedim. Geol.*, 5, 5-22
- Walgenwitz F., Le Duz A. et Eichenseer H. 1992. Isotope and trace element record of relative sea level in Albian carbonates from Congo atlantic margin, In: Kharaka Y.K. et Maest A.S. (eds), 7th International Symposium on Water-Rock Interaction, Balkema Edit., 487-491