

Claude Colombié

Laboratoire de Géologie de Lyon, UMR CNRS 5276

Université Claude Bernard Lyon 1

La Doua, bâtiment Géode

69622 Villeurbanne cedex, France

Tél : 04 72 44 58 14

E-mail : claud.colombie@univ-lyon1.fr

Villeurbanne, le 14-04-2011

Fondation MAIF

Le Pavois

50 avenue Salvador Allende

79000 Niort

RAPPORT SCIENTIFIQUE FINAL

Ce rapport concerne le projet de recherche « Paléoclimats et dépôts de tempêtes ». Il est établi pour la période de décembre 2009 à mars 2011.

Résumé (des résultats obtenus et de leur signification)

L'analyse détaillée des faciès hôtes (dans lesquels se forment les dépôts de tempêtes) du Jurassique supérieur de l'Ouest et du Nord de la France, du Nord-Est de l'Espagne et du Maroc permet de proposer une interprétation séquentielle et cyclostratigraphique et de calculer la durée des cycles. L'analyse spectrale des variations du gamma-ray et de la susceptibilité magnétique confirme les résultats acquis par l'approche classique de terrain. Ces cycles constituent un cadre stratigraphique de très haute résolution qui permet de calculer la fréquence des tempêtes préservées dans l'enregistrement sédimentaire. L'analyse détaillée des faciès du Jurassique supérieur de l'Ouest de la France et du Maroc permet également de mieux comprendre la dynamique de ces systèmes sédimentaires. L'impact des tempêtes sur la formation des dépôts de l'Ouest de la France semble évident alors que les dépôts du Maroc résulteraient plutôt de processus diagénétiques et tectoniques que de tempêtes. Le développement d'une méthode basée sur la comparaison des caractéristiques sédimentaires des dépôts hôtes et de tempêtes de l'Ouest de la France et du Nord-Est de l'Espagne permet de déterminer les variations de l'activité des tempêtes préservées dans l'enregistrement sédimentaire. L'évolution des isotopes stables de l'oxygène, des assemblages de nanofossiles calcaires et de la composition en minéraux argileux reflète des variations de haute fréquence des températures et des précipitations. Ces changements climatiques sont cohérents d'un atelier à l'autre et conformes à ceux définis dans d'autres bassins sédimentaires pour le même intervalle de temps. La comparaison des changements de l'activité (i.e., fréquence et intensité) des tempêtes préservées dans l'enregistrement sédimentaire et du climat montre que l'intensité varie en parallèle de la fréquence et augmente en période de réchauffement. La corrélation stratigraphique de plusieurs coupes de l'Ouest de la France et du Nord-Est de l'Espagne montre également que la formation et la préservation des dépôts de tempêtes dépendent étroitement de la profondeur d'eau. Ces résultats sont en partie comparables à ceux obtenus dans l'Actuel en Floride et en Mer du Nord et valident la méthode développée dans ce projet.

1. Rappel des principaux objectifs

Les principaux objectifs de ce projet étaient de mieux comprendre l'effet des changements climatiques sur : (1) les variations de l'activité (c.-à-d., intensité et fréquence) des tempêtes préservées dans l'enregistrement sédimentaire, et (2) l'installation d'un système où les tempêtes contrôlent la répartition des sédiments.

2. Rappel des ateliers et des méthodes

Cette étude se base sur l'analyse sédimentologique, micropaléontologique (palynomorphes et nannofossiles calcaires), des minéraux argileux et géochimique de séries sédimentaires (mixtes, silico-clastiques et carbonatées) du Jurassique supérieur. Ces séries sont réparties le long d'un transect Nord-Sud qui s'étend du Nord et de l'Ouest de la France à l'Ouest du Maroc en passant par le Nord-est de l'Espagne.

3. Composition et évolution de l'équipe

A l'origine, l'équipe était composée de 8 enseignants-chercheurs et chercheurs et d'un doctorant de 3 universités françaises (Lyon 1, Montpellier 2 et Paris 6) et de 3 collaborateurs étrangers des universités de Saragosse (Espagne) et Belfast (Royaume-Uni). Elle s'est enrichie de 4 étudiants (Arnaud Bayère, Sophie Bertholon, Myriam Boussaha et Juliana Njock), qui ont effectué des stages de recherche sur des thématiques en lien avec ce projet, et de deux collaborateurs étrangers (Chris Hunt de l'Université de Belfast également et Annette Götz de l'Université de Darmstadt en Allemagne). Une partie des analyses des minéraux argileux a été faite par l'entreprise Lithologie Bourgogne, la préparation des lames minces des coquilles de brachiopodes et d'huîtres, par le Département de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Genève, et l'analyse des isotopes du carbone et de l'oxygène des coquilles de brachiopodes et d'huîtres, au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris, les équipements nécessaires pour réaliser ces analyses n'étant pas disponibles ou momentanément hors service à Paris 6 ou Lyon 1.

4. Résultats 2010-2011

| | 2008 | 2009 | 2010 |
|---|----------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Levé de coupes et échantillonnage | FR (LR, Boulonnais) MAROC, SP | FR (LR), SP | |
| Sédimentologie et Micropaléontologie | FR (LR, Boulonnais), MAROC | FR (Oléron), MAROC, SP | FR (LR), SP |
| Gamma Ray Spectral | MAROC, SP | hors service | hors service |
| Susceptibilité magnétique | MAROC | | FR (LR), SP |
| Analyse spectrale | | MAROC, SP | FR (LR), MAROC, SP |
| Minéralogie des argiles | | MAROC | FR (LR), MAROC, SP |
| Isotopes de l'oxygène | | | FR (LR) |
| Interprétation séquentielle et | FR (LR, | MAROC, SP | FR (LR), SP |

| | | | |
|------------------------------------|------------------------|----|----|
| cyclostratigraphique | Boulonnais) | | |
| Corrélation stratigraphique | FR (LR, Boulonnais) | SP | SP |
| Chaîne de Markov | | | |
| Modélisation numérique | | | |

Table 1 : Résultats acquis de 2008 à 2010 pour chaque méthode utilisée et atelier étudié. FR : France, LR : La Rochelle, SP : Espagne.

4.1. Nord de la France

Fabienne Giraud rédige actuellement un article sur les résultats acquis par Damien Carcel au cours de sa thèse sur les coupes du Nord de la France. Il sera soumis pour publication à la revue *Sedimentology* dès que possible.

4.2. Ouest de la France

Les résultats acquis concernent essentiellement la formation des dépôts de tempêtes, la durée des cycles et le paléoclimat (températures et précipitations). Ils sont présentés en détail dans les annexes jointes à ce rapport.

Arnaud Bayère a réalisé son stage de recherche de M2 (sous la direction de Nicolas Olivier et de Claude Colombié) sur les dépôts de tempêtes de la Pointe du Chay (au Sud de La Rochelle). Suite aux bons résultats qu'il a obtenus, un projet de thèse intitulé « Caractérisation et comparaison des dépôts de tempêtes à différentes échelles de temps (Jurassique supérieur, Holocène et Actuel) : des données sédimentaires aux processus physiques sous-jacents » a été présenté à l'école doctorale E2M2 de l'Université Lyon 1. Ce projet n'a malheureusement pas été retenu. Une partie des résultats obtenus par Arnaud ont été présentés par Claude Colombié au Congrès International de Sédimentologie (ISC 2010) qui a eu lieu en octobre 2010 à Mendoza en Argentine (Annexe 1).

Johann Schnyder a réalisé 294 analyses de la susceptibilité magnétique dans les coupes des Pas et du Rocher d'Yves. Ces données ont été traitées et interprétées par Fabienne Giraud (Annexe 2).

Les minéraux argileux des Pas et du Rocher d'Yves ont été analysés par Alastair Ruffel de l'Université de Belfast (22 analyses) et par l'entreprise Lithologie Bourgogne (20 analyses). Johann Schnyder a réalisé l'interprétation de ces données (Annexe 3).

Trente cinq analyses des isotopes du carbone et de l'oxygène des coquilles de brachiopodes et d'huîtres prélevées dans les coupes des Pas, de la Pointe du Chay et du Rocher d'Yves ont été réalisées par Claude Colombié en collaboration avec le Département de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Genève et le Muséum national d'Histoire naturelle de Paris (Annexe 4).

Un article sur l'impact des tempêtes sur la formation des dépôts du Jurassique supérieur de l'Île d'Oléron est en cours de rédaction par Claude Colombié et sera soumis pour publication à la revue *Sedimentary Geology* dès que possible (Annexe 5).

4.3. Nord-Est de l'Espagne

Les résultats acquis concernent essentiellement la formation des dépôts de tempêtes, la durée des cycles et le paléoclimat (températures et précipitations). Ils sont présentés en détail dans les annexes ci-jointes.

Myriam Boussaha a réalisé son stage de recherche de M1 (sous la direction de Fabienne Giraud et de Claude Colombié) sur les nannofossiles calcaires de la coupe de Ricla Barranco (Oxfordien supérieur) (Annexe 6).

Les résultats acquis par Sophie Bertholon et Myriam Boussaha au cours de leur stage de recherche de M2 et L3 respectivement ont été présentés par Claude Colombié au Congrès International de Sédimentologie (ISC 2010) (Annexe 1).

Annette Götz de l'Université de Darmstadt a étudié le palynofaciès de 47 échantillons des coupes de Ricla Barranco, R3, R6 et R7 (Annexe 7).

Claude Colombié a réalisé l'analyse des faciès sédimentaire et l'interprétation séquentielle des coupes de Ricla Barranco et R4 (Annexe 8). Les dépôts de tempêtes de la coupe R4 ont également été étudiés en détail conformément à la méthode développée dans le cadre de ce projet, et la coupe R4, corrélées aux autres coupes de même âge étudiées par Sophie Bertholon au cours de son stage de recherche de M2. Les résultats obtenus feront l'objet d'une communication orale qui sera présentée en juillet prochain à Saragosse en Espagne dans le cadre du 29^{ème} congrès de l'IAS (International Association of Sedimentologists) (Annexe 9). Ces résultats seront également présentés au cours de l'excursion B2 « The Upper Jurassic carbonate ramps of the central Iberian Ranges: architecture, facies distribution and cyclostratigraphy », qui suivra le congrès. Le guide d'excursion a été soumis pour publication dans la revue *Geo-guias* par Marc Aurell (Annexe 10).

Johann Schnyder a terminé l'analyse de la susceptibilité magnétique des échantillons de la coupe de Ricla Barranco et de 180 échantillons de la coupe de Ricla Village. L'analyse spectrale de ces données a été réalisée et interprétée par Fabienne Giraud (Annexe 2).

Les minéraux argileux des coupes de Ricla Barranco et de Ricla Village ont été analysés par Johann Schnyder (15 analyses) et par l'entreprise Lithologie Bourgogne (30 analyses). Johann Schnyder a réalisé l'interprétation de ces données (Annexe 3).

4.4. Ouest du Maroc

Les résultats acquis concernent essentiellement l'impact des changements environnementaux sur les communautés coralliennes, la durée des cycles et le paléoclimat (précipitations). Ils sont présentés en détail dans les annexes jointes à ce rapport.

Les variations de la composition en minéraux argileux dans la partie supérieure de la coupe Assif Ouankrim ont été analysées par Alastair Ruffel de l'Université de Belfast (87 analyses) et interprétées par Johann Schnyder (Annexe 3).

Fabienne Giraud a réalisé l'analyse spectrale des variations de la susceptibilité magnétique mesurées par Johann Schnyder (Annexe 2).

Nicolas Olivier a présenté les résultats de l'étude des faunes coralliennes et microbiennes de la coupe d'Izwarn lors de la réunion spécialisée de la Société Géologique de France qui s'est déroulée en avril 2010 à Lyon (Annexe 11). Ces résultats font l'objet d'un article en préparation qui sera soumis pour publication à la revue *Geobios* dès que possible (Annexe 12).

5. Principaux résultats du projet

5.1. Oxfordien, Kimméridgien et Tithonien de l'Ouest et du Nord de la France

Les modèles de faciès établis pour les coupes de l'Ouest et du Nord de la France permettent d'estimer l'intensité des tempêtes préservées dans l'enregistrement sédimentaire. L'analyse sédimentologique et l'interprétation séquentielle et cyclostratigraphique de ces coupes révèlent que la sédimentation était contrôlée par les variations des paramètres orbitaux de la Terre. Les cycles ainsi définis constituent un cadre stratigraphique de très haute résolution qui permet de calculer la fréquence des

dépôts préservés dans l'enregistrement sédimentaire. L'analyse spectrale des variations de la susceptibilité magnétique mesurées dans les coupes de l'Ouest de la France confirme les résultats obtenus par l'approche classique de terrain. La comparaison des variations de l'activité des tempêtes déterminées dans le cadre de ce projet et des changements climatiques définis par ailleurs montre que l'intensité varie en parallèle de la fréquence et augmente en période de réchauffement. L'analyse des isotopes de l'oxygène de coquilles de brachiopodes et d'huîtres et des minéraux argileux des coupes de l'Ouest de la France indique que les variations climatiques (des températures et des précipitations) enregistrées dans les coupes étudiées sont conformes à celles définies par ailleurs (Riboulleau 1998, Lécuyer et al. 2003 et Brigaud et al. 2008 pour les températures et Schnyder 2003 pour les précipitations) et de haute fréquence (alternances de périodes froides et humides et de périodes chaudes et sèches à l'échelle d'une séquence de 400 ka).

5.2. Oxfordien et Kimméridgien du Nord-Est de l'Espagne

Une coupe de plus de 100 m d'épaisseur a été étudiée à la limite Oxfordien-Kimméridgien (Ricla barranco). Cette coupe ne contient pas de dépôt de tempête mais précède l'installation d'un système dominé par les tempêtes à la limite Kimméridgien inférieur-Kimméridgien supérieur. L'analyse des nannofossiles calcaires et des minéraux argileux montre un changement de conditions plutôt mésotrophiques et humides à la base de la coupe à des conditions oligotrophiques et plus sèches au sommet. La combinaison de l'analyse sédimentologique, de l'interprétation séquentielle et cyclostratigraphique, de l'analyse spectrale des variations du gamma-ray et de la susceptibilité magnétique et de l'étude des palynomorphes indique que ce changement est contemporain d'une augmentation de la température mise en évidence par Brigaud et al. (2008) pour le même intervalle de temps dans le Bassin de Paris.

Une coupe d'une trentaine de mètres environ (Ricla village et R7) et quatre coupes de 5 mètres d'épaisseur (R3, R4, R5 et R6) ont été étudiées à la limite Kimméridgien inférieur-Kimméridgien supérieur, au moment de l'installation d'un système dominé par les tempêtes, et corrélées des environnements les plus proximaux aux environnements les plus distaux. L'analyse sédimentologique et l'interprétation séquentielle de ces dépôts montrent que l'intensité des tempêtes varie en parallèle de la fréquence et que la formation et la préservation des dépôts de tempêtes dépendent étroitement de la profondeur. Ces résultats sont en partie comparables aux résultats acquis dans l'Actuel, et valident les méthodes développées dans ce projet. L'analyse des minéraux argileux des coupes de Ricla village et R7 indique une augmentation de l'aridité entre la base (qui correspond au sommet de la coupe de Ricla barranco) et la partie supérieure du Kimméridgien. Ce résultat est conforme à celui acquis par Abbink et al. (2001) pour le même intervalle de temps en Mer du Nord.

5.3. Oxfordien-Tithonien de l'Ouest Maroc

Le Jurassique supérieur du Nord-Est d'Agadir sert actuellement de référence dans les modèles de circulations générales développés pour le Kimméridgien. L'étude de l'Oxfordien supérieur-Kimméridgien-Tithonien de l'assif Ouankrim a montré que les brèches carbonatées interprétées par Ager (1974) comme des dépôts de tempêtes résulteraient plutôt de processus diagénétiques et tectoniques que de tempêtes. Les rapports entre les pics (à 11 ; 3,5 et 2,4 ; 1,25 m) révélés par l'analyse spectrale des variations du gamma-ray suggèrent que la sédimentation était contrôlée par les variations des paramètres orbitaux de la Terre. Le pic à 11 m est le plus robuste et

correspondrait au cycle de l'excentricité de 405 ka. L'analyse des minéraux argileux révèle des alternances climatiques marquées à l'échelle de ces cycles entre des périodes sèches à très sèches et des périodes humides dans la partie inférieure de l'intervalle étudié (carbonatée d'âge Oxfordien supérieur ou Kimméridgien inférieur ?), et une augmentation de l'aridité, dans la partie supérieure (silicoclastique, d'âge Kimméridgien-Tithonien ou Kimméridgien supérieur-Tithonien ?). Ce résultat est conforme aux résultats obtenus au NE de l'Espagne. L'analyse des écosystèmes récifaux du sommet de l'Oxfordien de la cuvette d'Izwarn montre qu'ils correspondent à des successions écologiques dont le développement serait le résultat d'une diminution de la tranche d'eau.

6. Rapport de vulgarisation

6.1. Publications internationales de rang A à comité de lecture (1)

– Publiée :

Carcel D., Colombié C., Giraud F., Courtinat B. (2010) Tectonic and eustatic control on a mixed siliciclastic-carbonate platform during the Late Oxfordian-Kimmeridgian (La Rochelle platform, western France). *Sedimentary Geology* 223, 334-359.

– Soumise :

Aurell M., Bádenas B., Pomar L., Colombié C., Caline B., Ipas J., Martínez V., San Miguel G., Al-Nazghah G.M. The Kimmeridgian-Lower Tithonian Iberian carbonate ramps (Upper Jurassic, NE Spain): architecture, facies distribution and cyclostratigraphy (*Geo-guias*)

– En préparation :

Colombié C., Schnyder J., Carcel, D. Shallow-water marl-limestone couplets in the Late Jurassic of western France: cycles, storm event deposits or both? (*Sedimentary Geology*)

Olivier N., Martin-Garin B., Colombié C., Cornée J.-J., Giraud F., Schnyder J. Ecological succession evidence in an Upper Jurassic coral reef system (Izwarn section, High Atlas, Morocco) (*Geobios*)

Giraud F., Carcel D., Colombié C. (*Sedimentology*)

6.2. Thèses et mémoires de Master (6)

Bayère A., 2009. Dépôts de tempêtes et paléoclimats (Kimméridgien-Tithonien, Ile d'Oléron). Mémoire de stage de M1, Université Claude Bernard – Lyon 1.

Bayère A., 2010. Production carbonatée et dépôts de tempêtes (Kimméridgien, Pointe du Chay, Charente-Maritime). Mémoire de stage de M2, Université Claude Bernard – Lyon 1.

Bertholon S., 2009. Signification paléoenvironnementale des dépôts du Jurassique supérieur au NE de l'Espagne. Mémoire de stage de M2, Université Claude Bernard – Lyon 1.

Boussaha M., 2010. Signification paléoenvironnementale des dépôts carbonatés du Jurassique supérieur du NE de l'Espagne (Approche micropaléontologique). Mémoire de stage de M1, Université Claude Bernard – Lyon 1.

Carcel D., 2009. Caractérisation des environnements de dépôt dominés par les tempêtes : Exemple du Jurassique supérieur de La Rochelle et du Boulonnais. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard – Lyon 1.

Njock, J., 2009. L'Oxfordien supérieur du nord-est de l'Espagne : dynamique sédimentaire et facteurs de contrôle. Mémoire de stage de M2, Université Claude Bernard – Lyon 1.

6.3. Communications orales (6)

Aurell M., Bádenas B., Bertholon S., Colombié C., 2009. From coral-microbial reef to tempestites: anatomy of a low-angle slope found in mid-carbonate ramp areas (Kimmeridgian, NE Spain). 27th IAS Meeting of Sedimentology 2009, Alghero - Italy, pp. 59.

Colombié C., Bádenas B., Aurell M., Götz, A.E. (2011) The anatomy of high-frequency cycles recorded in a sloped mid-carbonate ramp setting: the interplay between carbonate production, detrital input, and storm resedimentation (Kimmeridgian, NE Spain). 29th IAS Meeting of Sedimentology 2011, Zaragoza, Spain.

- Colombié C.**, Bayère A., Bertholon S., **Bádenas B.**, **Aurell M.**, 2010. Comparison of tempestite characteristics at different spatial scales: a means of assessing storm activity? (Late Jurassic, NE Spain and western France). 18th International Congress of Sedimentology, Mendoza, Argentina, p. 256.
- Colombié C.**, **Carcel D.**, Bayère A., Bertholon S., Boussaha M., **Bádenas B.**, **Aurell M.**, **Giraud F.**, **Schnyder J.**, 2009. Changes in storm intensity and climate during Late Jurassic (western France and northeastern Spain). 27th IAS Meeting of Sedimentology 2009, Alghero - Italy, pp. 114.
- Colombié C.**, **Carcel D.**, Bayère A., Bertholon S., Boussaha M., **Bádenas B.**, **Aurell M.**, **Giraud F.**, **Schnyder J.**, 2009. Changes in storm intensity and climate during Late Jurassic (western France and northeastern Spain). 12^{ème} Congrès Français de Sédimentologie – Rennes 2009 – Livre des résumés, Publ. ASF, n° 64, 84.
- Olivier N.**, Martin-Garin B., **Colombié C.**, **Cornée J.-J.**, **Giraud F.**, **Schnyder J.**, Kabbachi B., Ezaidi K., 2010. Installation et disparition d'un récif à coraux scléactiniaires et à microbialites (Oxfordien, Maroc). Réunion spécialisée de la Société Géologique de France en hommage à Serge Elmi, Peuplements et environnements jurassiques, Lyon (France), p. 78-79.

6.4. Posters (2)

- Carcel D.**, **Giraud F.**, **Colombié C.**, 2008. Paleoenvironmental changes in Kimmeridgian platforms (western France) revealed by calcareous nannoplankton and ascidian spicules variations. 12th International Nannoplankton Association Meeting, Lyon, France, p. 32.
- Colombié C.**, **Giraud F.**, **Schnyder J.**, **Olivier N.**, **Cornée J.-J.**, 2009. Sedimentological review of the Late Jurassic "tempestites" of the Moroccan High Atlas. 12^{ème} Congrès Français de Sédimentologie – Rennes 2009 – Livre des résumés, Publ. ASF, n° 64, 85.

7. Publications à venir

7.1. France

Colombié et al. (stage de recherche de M1 d'Arnaud Bayère) dans *Geology* ou *Terra Nova*
 Colombié et al. (comparaison des modèles de faciès et des structures sédimentaires de l'Ouest et du Nord de la France) dans *Facies*

7.2. Espagne

Colombié et al. (corrélation des coupes R3, R4, R5, R6, R7) dans *Basin Research*
 Giraud et al. (Riela Barranco) dans *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* ?

7.3. Maroc

Colombié et al. (sédimentologie) dans ???
 Ruffel et al. (minéralogie des argiles) dans *Clays and clay minerals*
 Schnyder et al. (paléoclimat) dans *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*

8. Perspectives

La plupart des résultats attendus ont été atteints. Il reste cependant à affiner la corrélation stratigraphique de l'Oxfordien supérieur-Kimméridgien inférieur entre le Maroc, l'Espagne et la France et du Kimméridgien supérieur-Tithonien entre le Maroc, l'Espagne, l'Ouest et le Nord de la France, modéliser les données du Nord-Est de l'Espagne et comparer les résultats acquis avec ceux issus de l'approche géologique. Il était également prévu d'utiliser les chaînes de Markov pour confirmer la définition des cycles. Cependant, les résultats obtenus par l'approche classique de terrain étant cohérents avec ceux issus de l'analyse spectrale des variations du gamma-ray et de la susceptibilité magnétique, cette étape n'est plus nécessaire. Les résultats acquis seront publiés suivant le planning de publication ci-dessus. Enfin, ce projet est à l'origine d'un nouveau projet « Caractérisation et comparaison des dépôts de tempêtes à différentes

échelles de temps (Jurassique supérieur, Holocène et Actuel) : des données sédimentaires aux processus physiques sous-jacents » qui sera amélioré et soumis à plusieurs appels d'offres pour financement.

Comparison of tempestite characteristics at different spatial scales: a means of assessing storm activity? (Late Jurassic, NE Spain and western France)

CLAUDE COLOMBIÉ¹, ARNAUD BAYÈRE¹, SOPHIE BERTHOLON¹, BEATRIZ BÁDENAS² & MARC AURELL²

¹ UMR CNRS 5125 PEPS, Université Claude Bernard Lyon 1, Villeurbanne, France

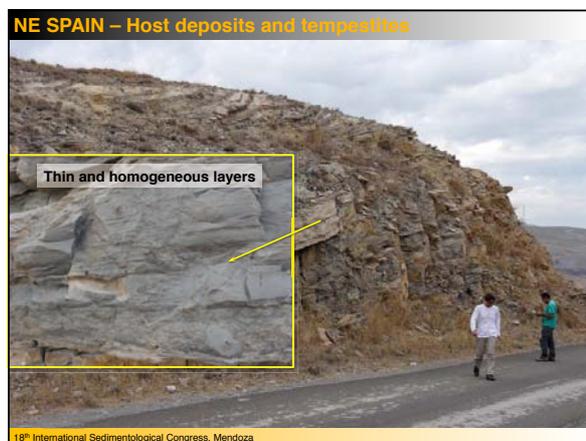
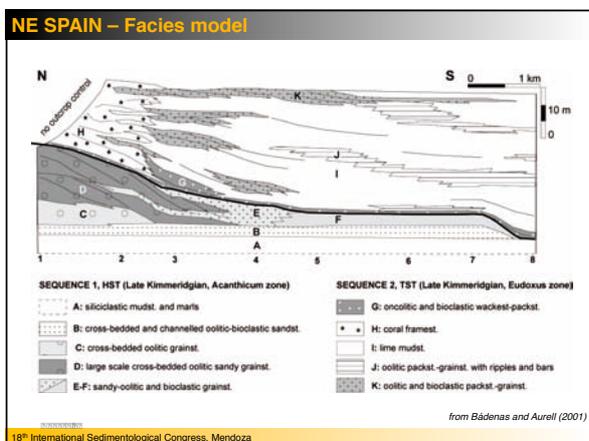
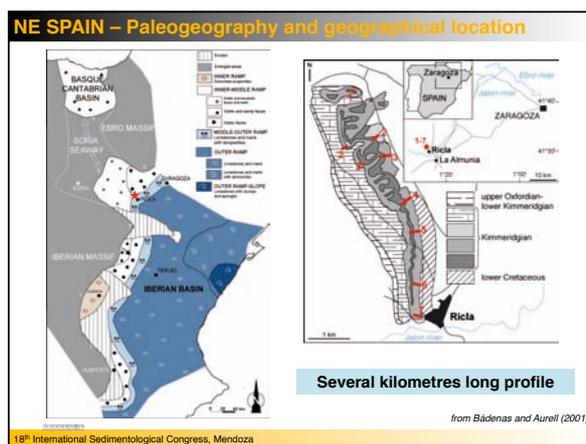
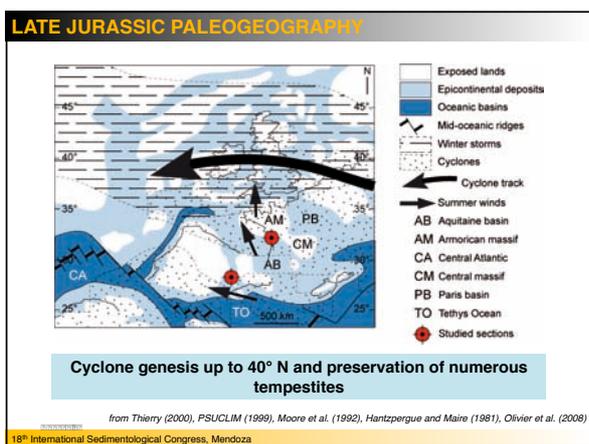
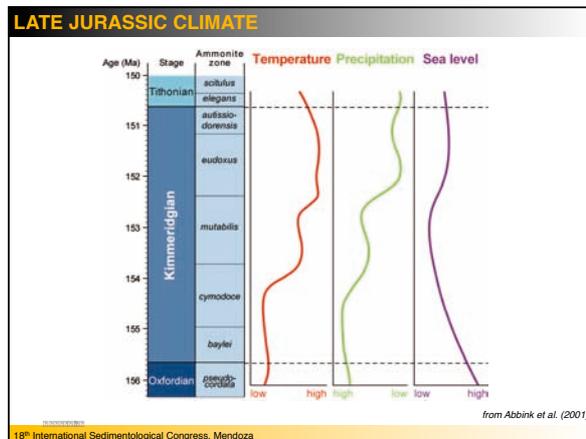
² Área de Estratigrafía, Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain

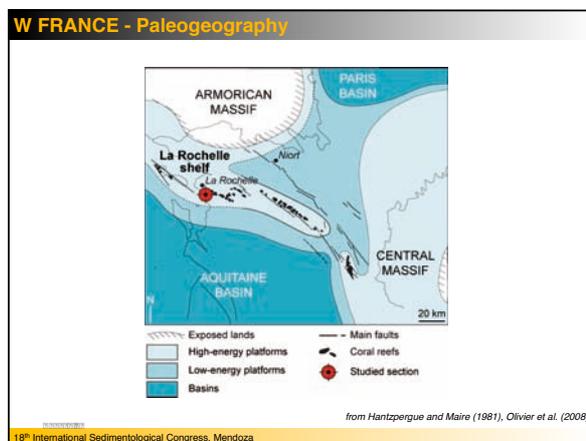
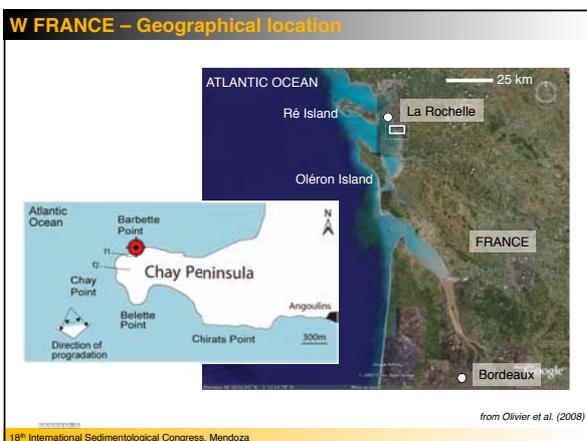
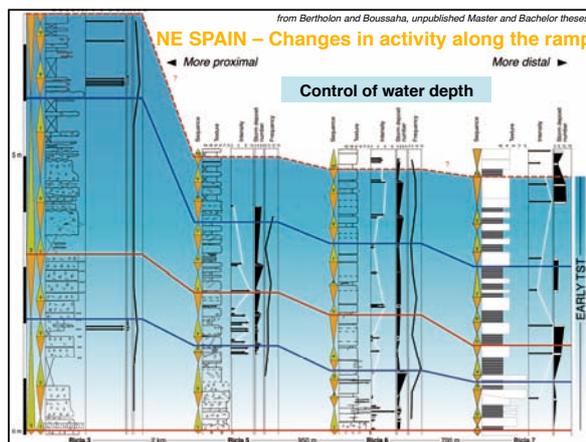
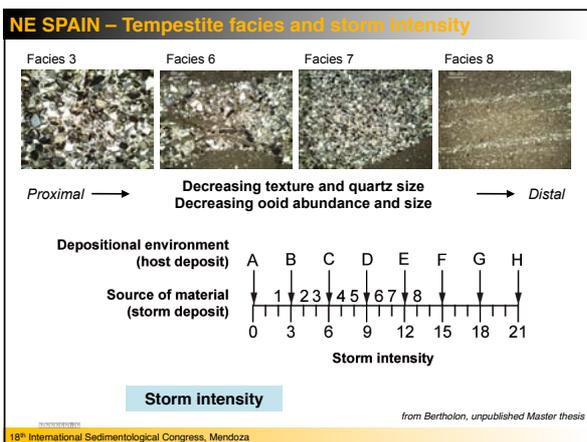
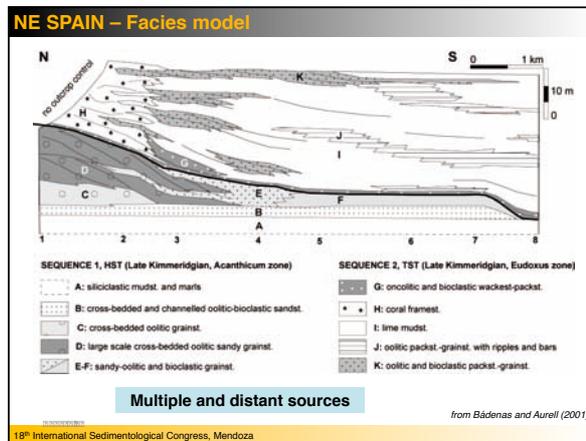
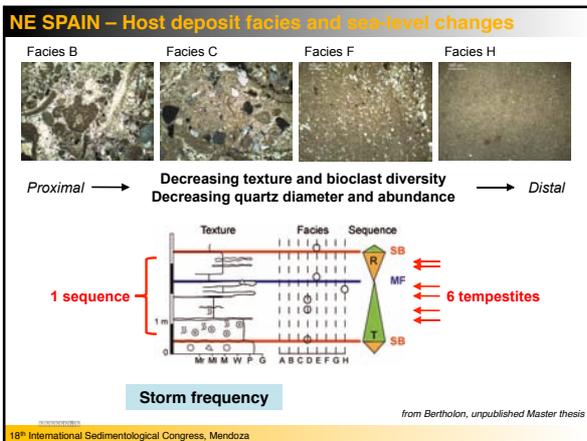
The physical criteria, such as the thickness and structure of tempestites, the diversity, abundance, size, sorting, and shape of grains, and their vertical trends depend on flow velocities and quantities of transport and reflect paleostorm intensity. Changes in paleostorm intensity and their comparison with the factors that controlled sedimentation such as sea level, climate, tectonics, etc. is a means of better understanding controls on storm activity. The climatic and palaeogeographic settings of the Late Jurassic favoured the cyclone genesis up to 40° North and the development of wide shallow-water carbonate platforms where numerous tempestites were preserved. The Late Jurassic deposits of northeastern Spain and western France are marl-limestone alternations that contain tempestites. Several five metres thick sections, which are located close to Zaragoza in northeastern Spain, form a four kilometres long transect that is perpendicular to the palaeoshoreline. This transect is compared with six five meters thick sections, located close to La Rochelle in western France, that form a fifty-meters long transect, which is also perpendicular to the palaeoshoreline. There, transect is attached to a microbialite and coral reef, which is supposed to be the potential source of sediments. In both case, the studied sections last 100 ky and contain a great number of tempestites. During the Late Jurassic, sea level changes were low and tempestites formed in a physical setting that remained stable throughout the studied period. In this setting, the thickness and structure of tempestites, the diversity, abundance, size, sorting, and shape of grains and their vertical trends are analysed to determine the most significant criteria that can be used to assess the physical processes responsible for these deposits. Then, the distribution of these characteristics along the studied transects allow the effects of the distance to the source and bathymetry to be evaluated. Lastly, the detailed analysis of host deposit facies and their evolution through time allow the definition of the factors that controlled the formation and preservation of tempestites (e.g., sea level, climate, sedimentation rate, diagenesis). In northeastern Spain, the most significant criteria are the diversity, size, and abundance of grains. Their interpretation indicates that water depth controlled the formation and preservation of tempestites, and that the middle ramp deposits are the most appropriate to determine palaeostorm intensity. In western France, the lateral and vertical changes of the structure of tempestites and the size and sorting of grains give information about the physical processes that caused these deposits. Consequently, the very detailed facies analysis of several tempestites and their comparison at spatial scale ranging from several kilometres to few meters is a means of assessing the full range of processes (i.e., from the most global to the most local) that controlled the formation and preservation of tempestites and to better characterise the storms that formed these deposits.

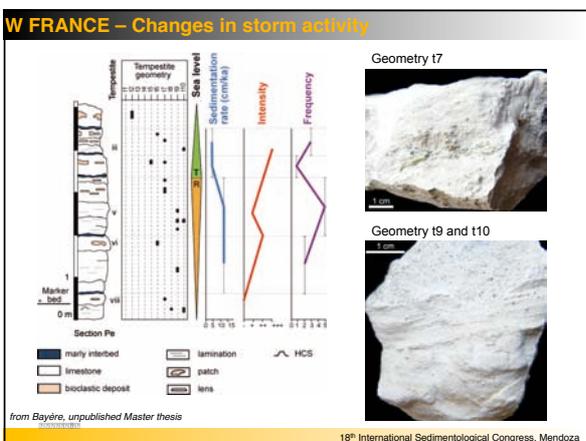
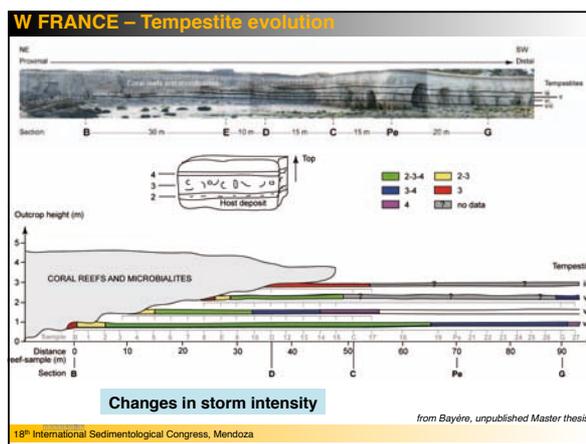
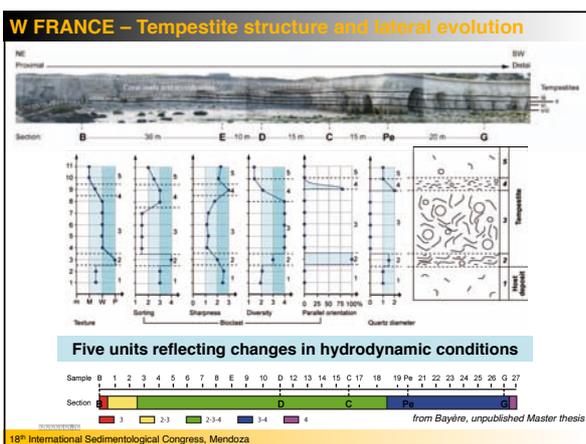
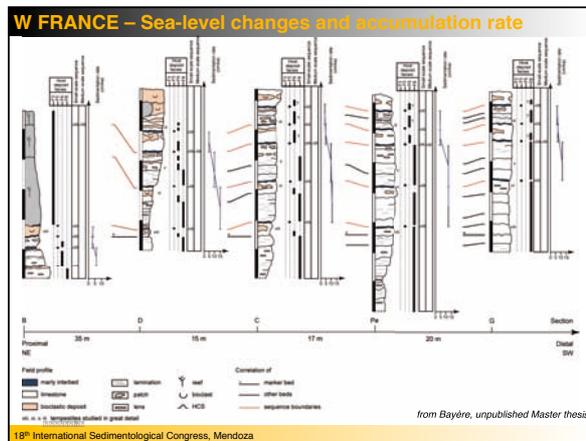
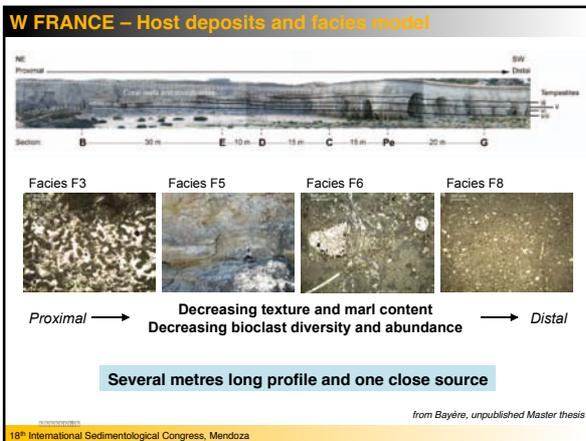
Comparison of tempestite characteristics at different spatial scale: a means of assessing storm activity? (Late Jurassic, NE Spain and W France)

Claude Colombié¹, Arnaud Bayère¹, Sophie Bertholon², Beatriz Bádenas³ & Marc Aurell³

¹ UMR CNRS 5125 PEPS, Université Lyon 1, France
² Institut Universitaire Européen de la Mer, Technopôle Brest-Iroise, France
³ Area de Estratigrafia, Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, Spain







CONCLUSIONS

The **NE Spain** tempestites, located on a several **kilometres** long profile and made of material from **many and far** sources, indicate that storm intensity increased when storm frequency increased, and that both the shallowest and the deepest records are not complete because of **water depth**.

The **W France** tempestites, located on a several **metres** long profile and made of material from **one close** source, show **5 units**, which reflect changes in **hydrodynamic conditions**, and which evolve laterally according to changes in storm intensity.

Consequently, the very detailed facies analysis of numerous tempestites and their comparison at spatial scale ranging from several kilometres to few metres is a means of assessing the **full range of processes** that controlled the formation and preservation of tempestites and to **better characterise the storms** that formed these deposits.

from Bayère, unpublished Master thesis

18th International Sedimentological Congress, Mendoza

Traitement par analyse spectrale des données acquises sur les données en susceptibilité magnétique du Maroc, de l'Espagne et de la France

(Fabienne Giraud, Johann Schnyder et Claude Colombié)

Nous avons appliqué deux méthodes : la méthode du Blackman-Tukey, qui est idéale pour les enregistrements longs et qui représente un bon compromis entre un intervalle de confiance satisfaisant et une résolution des pics correcte, et la méthode du Maximum Entropie, qui permet d'obtenir de bons spectres pour les enregistrements courts, avec une bonne résolution des pics mais un moins bon intervalle de confiance que la méthode précédente.

Maroc (Figure 1)

Sur la coupe du Maroc, les données en susceptibilité magnétique ont été mesurées tous les 1 m, ce qui représente 183 points de mesure au total. Les spectres obtenus à partir des deux méthodes ont été reportés sur la même figure pour permettre une bonne comparaison (Figure 1). Les spectres obtenus montrent différents pics généralement identiques entre les deux méthodes utilisées ; la valeur des pics significatifs est donnée en mètres et non en temps. Pour transformer ces données en temps, il faut avoir une résolution temporelle très précise, ce qui n'est pas le cas pour les séries anciennes étudiées. Nous ne disposons pas pour le Maroc de données biostratigraphiques suffisantes pour avoir une estimation de la durée de l'intervalle étudié.

Pour avoir une idée de la signification de ces pics, nous avons donc utilisé les rapports des paramètres climatiques orbitaux calculés pour les périodes anciennes (Figure 3 de la partie analyse spectrale dans le rapport 2010). Rappelons que le cycle de 405 Ka (excentricité) est un des cycles les plus fiables que l'on puisse retrouver dans les enregistrements sédimentaires anciens.

Nous avons donc comparé les rapports entre les pics significatifs obtenus sur l'enregistrement de la susceptibilité magnétique avec ceux calculés à partir des valeurs des paramètres orbitaux. A partir de cette comparaison, il n'est pas possible d'attribuer de périodicités aux pics identifiés. Notons également que les pics en mètres (m) identifiés sur les spectres (31,4 ; 16,1 ; 5,6 ; 2,9) sont différents de ceux reconnus sur l'enregistrement du gamma-ray (partie analyse spectrale du rapport 2010 ; 11 m ; 3,5 m et 2,4 m ; 1,25 m). Sur l'enregistrement du gamma-ray, les pics situés entre 3,5 et 2,4 m, avaient été attribués à l'une des valeurs de l'excentricité. Le pic à 2,9 m identifié sur les spectres de la susceptibilité magnétique pourrait peut être correspondre à l'excentricité e2 (95 ka). A ce stade du traitement, nous ne pouvons pas aller plus loin dans l'interprétation.

Espagne (Figure 2)

Sur les coupes de Ricla levées en Espagne, nous avons un enregistrement de 158 mesures de la susceptibilité magnétique effectuées tous les 0,09-0,10 m pour la première partie d'âge Oxfordien (coupe de Ricla Barranco) et un enregistrement de 191 mesures de la susceptibilité magnétique effectuées tous les 0,10-0,11 m pour la partie kimméridgienne (coupe de Ricla Village). Ces données, qui ne sont pas échantillonnées à un pas tout à fait régulier, sont ré-échantillonnées artificiellement par une interpolation avant d'être traitées par analyse spectrale. L'interpolation pour la coupe de Ricla Barranco est faite tous les 0,086 m et tous les 0,099 m pour la coupe de Ricla Village. Les spectres obtenus pour la coupe de Ricla Barranco montrent deux pics significatifs à 7 m et 0,95 m. La encore, la comparaison avec les rapports des cycles orbitaux (Figure 3 de la partie analyse spectrale dans le rapport 2010) ne permet

pas d'interpréter ces pics. Les valeurs en mètres de ces pics sont différentes de celles identifiées sur l'enregistrement de la susceptibilité magnétique mesurée sur un intervalle plus récent mais toujours d'âge oxfordien (19,39 ; 3,23 ; 1,84 ; 1,55 ; Figure 5 de la partie analyse spectrale du rapport 2010). Par contre, les données obtenues à partir du gamma-ray sur le même intervalle de temps que celui traité cette année en susceptibilité magnétique montraient un pic à 8 m (Figure 4 de la partie analyse spectrale du rapport 2010), que nous avons attribué à l'excentricité e1 (128 ka). Le pic à 7 m identifié ici pourrait alors refléter également l'excentricité e1.

Les spectres obtenus pour la coupe de Ricla Village d'âge kimméridgien montrent plusieurs pics significatifs communs entre les deux méthodes appliquées. La présence de 4 pics sur les enregistrements nous permet de calculer des rapports entre ces pics. Ces rapports ne sont pas extrêmement robustes et deux options sont possibles. En prenant la première option (intégrant le plus de rapports), le pic à 2,6 m aurait la valeur du petit cycle de l'excentricité e1 (128 ka), le pic à 1,42 correspondrait à l'excentricité e2 et les pics à 0,92 et 0,41 m pourraient représenter les valeurs de l'obliquité (O2) et de la précession (P1) respectivement. Si le pic à 2,6 m représente l'excentricité e1, cela signifie que ce cycle (qui faisait 7-8 m d'épaisseur à l'Oxfordien) est 3 fois moins épais au Kimméridgien que dans le premier intervalle d'âge Oxfordien. Ces résultats impliqueraient une diminution très importante du taux de sédimentation entre l'Oxfordien et le Kimméridgien. En prenant l'option 2, un seul rapport est fiable, il s'agit du rapport entre le pic à 1,42 m et celui à 2,6 m, qui est égal à 0,546. Ce rapport est proche de celui obtenu entre le petit cycle de la précession (P1) et le petit cycle de l'obliquité (O1) (Figure 3 de la partie analyse spectrale dans le rapport 2010). Avec l'option 2, le pic à 1,42 m est identique à celui reconnu par Bádenas et al. (2003) à partir de l'analyse spectrale des variations de l'épaisseur des bancs dans une coupe proche de Ricla village et de même âge. Bádenas et al. (2003) attribue également ce pic au cycle de la précession (P1). Enfin, en prenant cette deuxième option, l'épaisseur des cycles de l'excentricité serait alors de 7,1 m, qui est la valeur reconnue pour l'excentricité e1 dans la coupe de Ricla Barranco.

France (Figure 3)

La susceptibilité magnétique a été mesurée sur deux coupes (174 mesures pour le Pas de l'Assassin pour l'intervalle Oxfordien-Kimméridgien ; 104 mesures pour le Rocher d'Yves pour le Kimméridgien supérieur) ; le pas d'échantillonnage n'est pas tout à fait régulier et varie entre 0,09 et 0,12 m. Les données ont donc été à nouveau interpolées (ré-échantillonnage) pour ces deux coupes avec un pas de 0,10 m pour le Pas de l'Assassin et de 0,094 m pour le Rocher d'Yves. Les spectres obtenus pour la coupe du Pas montrent différents pics significatifs communs entre les deux méthodes et permettent de calculer les rapports entre ces pics. Le pic à 10,83 m pourrait correspondre à la valeur de 405 ka, le pic à 2,39 m à celui de l'excentricité e2 et les pics à 1,19 et 0,57 m pourraient représenter les valeurs de l'obliquité (O2) et de la précession (P2) respectivement. Il est à noter que l'analyse cyclostratigraphique effectuée à partir des données de terrain (pattern des séquences de dépôt) sur la coupe du Pas permettait de reconnaître des séquences de long terme attribuées à la valeur de l'excentricité de 400 ka et dont l'épaisseur est de 12-13 m environ, des séquences à moyen terme attribuées à la valeur de l'excentricité de 100 ka dont l'épaisseur est comprise entre 2 et 5 m et des séquences de court terme attribuées à la précession et dont l'épaisseur varie généralement entre 0,8 et 2 m (Carcel et al., 2010). Le cycle de 405 ka est celui qui semble le plus robuste quand on compare ces données.

Pour la coupe du Rocher d'Yves, les spectres obtenus montrent 3 pics significatifs communs aux deux méthodes de 5, 1,5 et 0,6 m. La comparaison des rapports de ces cycles avec ceux des cycles orbitaux ne donne aucun résultat convaincant. De même la comparaison des pics

obtenus par analyse spectrale avec les séquences déduites de l'analyse cyclostratigraphique effectuée sur le terrain ne permet pas de trancher. Deux séquences de moyen terme (100 ka) ont été reconnues et leur épaisseur est comprise entre 3,5 et 4,5 m et les séquences de court terme attribuées à la précession ont une épaisseur d'environ 1 m (Carcel et al., 2010).

Références

- Bádenas, B., Aurell, M., Rodríguez Tovar, F.J., Pardo-Izuzquiza, E. (2003) Sequence stratigraphy and bedding rhythms in an outer ramp limestone succession (Late Kimmeridgian, northeast Spain). *Sedimentary Geology* 161, 153–174.
- Carcel D., Colombié, C., Giraud, F., Courtinat, B. (2010) Tectonic and eustatic control on a mixed siliciclastic–carbonate platform during the Late Oxfordian–Kimmeridgian (La Rochelle platform, western France). *Sedimentary Geology* 223, 334–359.

Analyse spectrale - MAROC

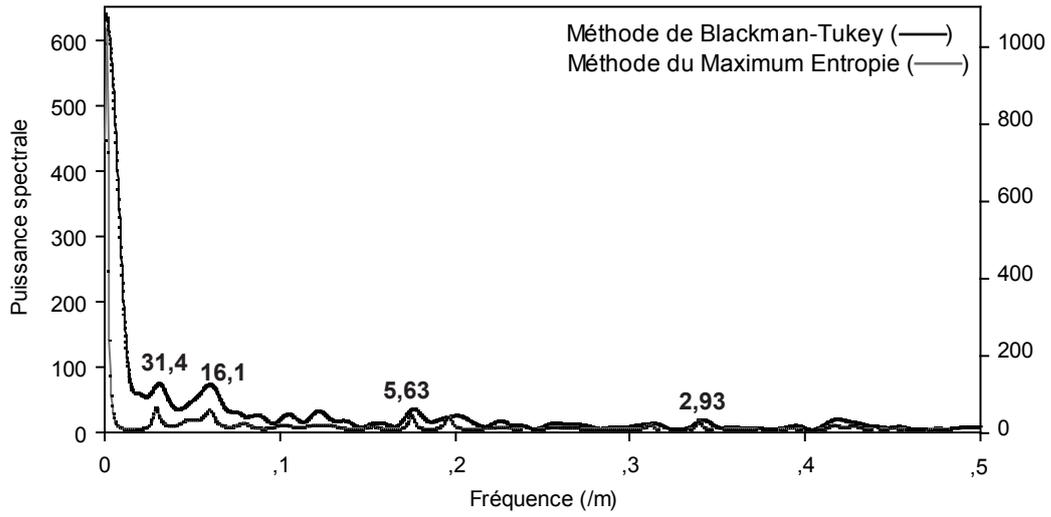


Figure 1 - Spectres de la susceptibilité magnétique - Coupe de Assif Ouemkrim (Maroc)

Analyse spectrale - ESPAGNE

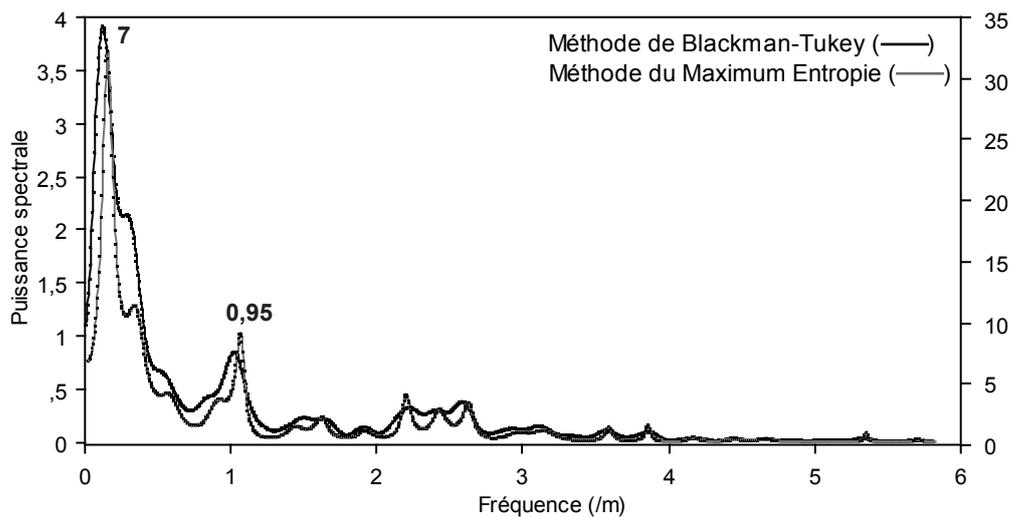


Figure 2A - Spectres de la susceptibilité magnétique - Coupe de Ricla Barranco

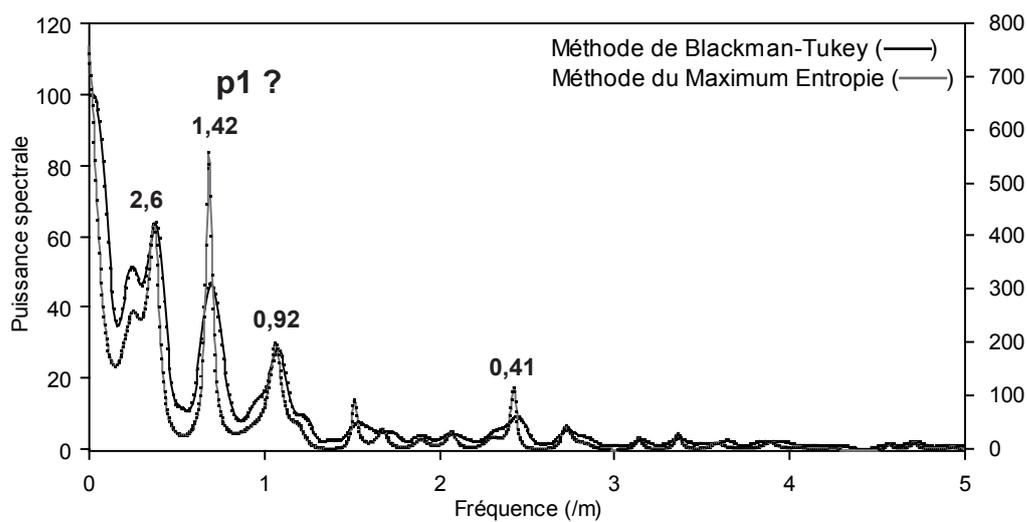


Figure 2B - Spectres de la susceptibilité magnétique - Coupe de Ricla Village

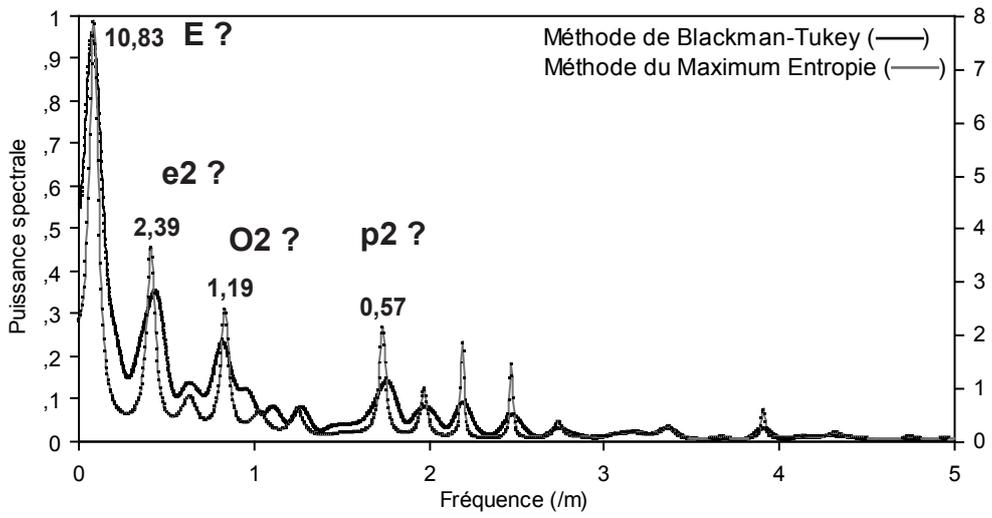


Figure 3A - Spectres de la susceptibilité magnétique - Coupe du Pas de l'Assassin

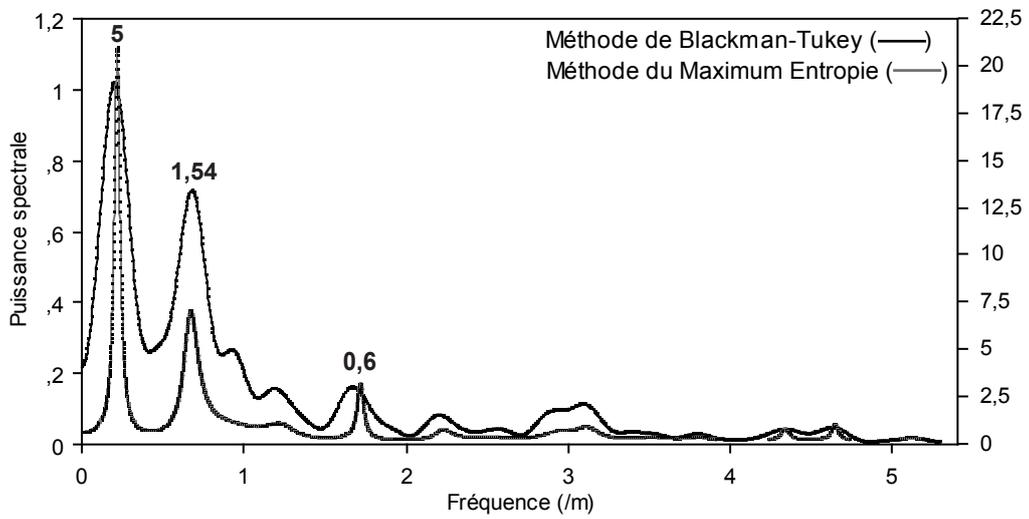


Figure 3B - Spectres de la susceptibilité magnétique - Coupe du Rocher d'Yves

Minéralogie des argiles

(JS, AR, Litho B et CC)

Charentes

Dans les Charentes, les assemblages argileux des coupes des Pas et du Rocher d'Yves sont essentiellement constitués de kaolinite, d'interstratifiés illite-smectite (smectite s.l.) et d'illite (Fig. 1 et Fig. 2). L'illite domine les assemblages argileux. Une composition voisine des assemblages argileux est connue dans le Jurassique terminal de l'île d'Oléron (Schnyder, 2003, Schnyder et al., in prep.), suggérant une relative stabilité des sources détritiques.

Coupe des Pas

Les fluctuations relatives des minéraux argileux sont faibles, mais l'utilisation des rapports K/I et K/S, qui permettent d'accentuer ces fluctuations, montrent dans la coupe des Pas un intervalle relativement déprimé en kaolinite au Kimméridgien inférieur, dans la zone d'ammonite à rupellensis (échantillons PA 7 à PA 14), suivi d'une hausse des teneurs relatives en kaolinite dans la partie supérieure de la zone à rupellensis et la partie basale de la zone à cymodoce (s.z. à cymodoce) (PA 15 à PBA3) (Fig. 1). Les teneurs relatives en kaolinite baissent ensuite dans la zone à cymodoce. Cette baisse intervient donc dès la sous-zone à cymodoce au Kimméridgien inférieur. De telles fluctuations des assemblages argileux semblent aussi enregistrées dans des dépôts contemporains en Normandie. Une augmentation des teneurs relatives en kaolinite a lieu au sommet de la zone à baylei, puis ces teneurs baissent à la limite baylei-cymodoce, associées à une légère augmentation des proportions de pollen de *Classopollis* (conifère, Cheirolepidiaceae) indicateurs de climats plus secs (Schnyder, 2003 ; Saint Germès et al., 1996, Baudin et al., 2002). Ces données suggèrent donc le développement d'une phase climatique relativement plus sèche dans la partie basale de la zone à rupellensis du Kimméridgien inférieur, suivie d'une phase plus humide à la transition rupellensis-cymodoce, puis d'une nouvelle phase climatique plus sèche, toujours dans la zone à cymodoce (s.z. à cymodoce).

Coupe du Rocher d'Yves

Dans la coupe du Rocher d'Yves, les fluctuations des minéraux argileux sont plus marquées que dans la coupe des Pas. De nouveau, les fluctuations des proportions de kaolinite vs les proportions de smectite et d'illite sont bien visibles au Kimméridgien inférieur (Fig. 2) : les teneurs relatives en kaolinite sont plus faibles au sommet de la zone à mutabilis (s.z. à Lallieranum) (échantillons YA 5 à YA7) et augmentent ensuite à la base de la zone à Eudoxus (s.z. à Orthocera) (Fig. 2). Là encore, un pic d'abondance de pollen de *Classopollis* est connu dans le sommet de la sous-zone à Lallieranum de la zone à mutabilis en Normandie et dans le Boulonnais (Schnyder, 2003 ; Jan Du Chêne, unpubl. data). Une phase climatique relativement plus sèche semble donc exister au sommet de la zone à mutabilis, et être remplacée par une phase climatique plus humide à la base de la zone à eudoxus.

Espagne

Coupe de Ricla Barranco

Les assemblages argileux dans la coupe de Ricla Barranco sont constitués de kaolinite, de smectite, d'illite, et de chlorite (Fig. 3). L'illite domine largement, ce qui n'est guère surprenant vu (1) la proximité du paléorivage et (2) les proportions importantes de micas observées sur le terrain. Il faut noter qu'une lacune importante d'échantillonnage, due à des lacunes d'observations sur le terrain, existe entre les échantillons RB 34 et RB 43. La kaolinite, présente en assez faibles teneurs à la base de la coupe jusqu'à l'échantillon RB 34 (zone à planula, Oxfordien supérieur), disparaît au-dessus de l'échantillon RB 43 (toujours dans la zone à planula, Fig. 3). Les proportions de smectite sont importantes entre les échantillons RB 48 et RB 56, puis diminuent ensuite (zone à planula). Ces données suggèrent le développement d'une phase climatique plus humide à la base de la coupe dans la zone à planula de l'Oxfordien supérieur, suivie d'une phase climatique plus sèche, toujours datée de la zone à planula. Cette interprétation paléoclimatique est cohérente avec celle basée sur la distribution des nannofossiles calcaires (cf. annexe 6), qui suggère une transition humide (plus froid)-sec (plus chaud) entre les cotes 47 et 52 m (échantillons RB 53-RB 61). Le pic de smectite (suggérant un climat plus sec) est observé dans l'échantillon RB 52. L'extension verticale des proportions de kaolinite au sommet de la coupe, au-dessus de l'échantillon RB64 (Oxfordien supérieur, zone à planula et base de la zone à platynota) reste à préciser pour contraindre les fluctuations climatiques au sein de la zone à planula.

Coupe de Ricla Village

Les assemblages argileux de la coupe de Ricla Village sont constitués essentiellement de smectite s.l., de saponite (Mg-smectite) et d'illite (Fig. 4). L'illite domine largement les assemblages argileux, très probablement toujours en relation avec la proximité du paléorivage, pourvoyeur d'apports détritiques. On note toujours l'absence de kaolinite. La présence de saponite et l'absence de kaolinite suggère un climat généralement plus sec que celui enregistré dans les dépôts plus anciens de la coupe de Ricla Barranco. Une augmentation notable des proportions de smectite est enregistrée à partir de l'échantillon RV31, jusqu'à l'échantillon RV 54 (Fig. 4). Ceci pourrait indiquer un changement vers des conditions climatiques plus sèches et/ou être lié à un changement des sources détritiques associé à une chute eustatique de second ordre (Bádenas et al. 1998 ; Aurell et al. 1998).

Maroc

Coupe de l'Assif Ouankrim

Les assemblages argileux de la coupe de l'Assif Ouankrim sont constitués de kaolinite, de smectite, d'illite et de palygorskite. Sur la figure 5 sont présentés ces résultats de minéraux argileux, ainsi que des données de DRX sur roche totale utilisées pour compléter les résultats de la minéralogie des argiles, lacunaires dans la partie supérieure de la coupe (Fig. 5).

D'une manière générale, les assemblages argileux indiquent clairement un paléoclimat semi-aride au cours de l'Oxfordien et du Kimmeridgien dans cette région du Maroc : diminution progressive des teneurs relatives en kaolinite de l'Oxfordien au Kimméridgien, présence de palygorskite à l'Oxfordien, indices évaporitiques dans les carbonates d'après les observations sédimentologiques (Fig. 5), présence de calcite magnésienne, de gypse et de dolomie dans la partie supérieure de la coupe au Kimméridgien (Fig. 5), dolomitisation généralisée des carbonates (bien qu'une origine partiellement diagénétique de cette dernière ne peut être écartée).

Dans la partie basale de la coupe, à l'Oxfordien, correspondant à des environnements de lagons peu profonds, des phases alternantes sec/humide ont déjà été identifiées et décrites dans le dernier rapport intermédiaire (Annexe 6, Fig. 1). La présence de palygorskite couplée à de faibles proportions de kaolinite atteste de conditions plus sèches. Rappelons que ces résultats sont appuyés par les données du gamma-ray spectral, déjà présentées dans le dernier rapport intermédiaire (Annexe 6, Fig. 1). Les phases plus humides correspondent à des intervalles marqués par une absence de palygorskite et des teneurs généralement plus importantes de kaolinite (Fig. 5). Le climat devait être semi-aride, avec le développement plus ou moins important d'une saison humide suivant les tendances climatiques de long terme.

La rareté des marqueurs biostratigraphiques fiables ne permet pas de préciser plus la chronologie de ces phases paléoclimatiques. Néanmoins le traitement cyclostratigraphique des données de gamma-ray spectral permet d'estimer leurs durées et de préciser si un contrôle orbital sur la sédimentation est responsable de ces fluctuations climatiques.

Dans la partie supérieure de la coupe (Kimméridgien- Tithonien basal, cf. Fig. 5), la kaolinite disparaît, à part deux courts intervalles centrés sur 92-100 m et 120-133m ou de petits pics de kaolinite sont observables (Fig. 5). Les proportions de smectite augmentent au dépend de l'illite. Ce changement net dans la composition des assemblages argileux entre la partie basale et la partie supérieure de la coupe est associé à un changement dans la lithologie (passage de faciès de lagons à dominante carbonatée à des faciès de baie très peu profonde à dominante silico-clastique). Ce changement minéralogique pourrait donc en partie être lié à une ré-organisation des sources détritiques. Néanmoins le facteur climatique apparaît fort, les proportions de smectite (plutôt indicatrices de conditions climatiques sèches) augmentant alors que la kaolinite diminue nettement par rapport à la partie inférieure de la coupe. Les conditions climatiques semblent donc devenir de plus en plus sèches de l'Oxfordien au Kimméridgien. La partie très supérieure de la coupe est d'ailleurs marquée par des brèches de dissolution d'évaporites, clairement indicatrices d'une accélération des conditions sèches et/ou d'une chute brutale du niveau marin relatif. La présence de palygorskite à la base de la coupe (et son absence dans la seconde partie) semble plus liée à des conditions hydrologiquement et chimiquement très confinées des lagons carbonatés de l'Oxfordien, favorisant la néoformation de palygorskite, qu'à un climat généralement plus sec à l'Oxfordien.

Les petits pics de kaolinite centrés sur 92-100 m et 120-133m sont associés à de petites proportions de sidérite. La sidérite est un minéral qui se forme sous des climats humides, où des climats à alternances de saisons sèches et humides, avec une saison humide marquée. Ces intervalles pourraient donc correspondre à des conditions climatiques plus humides au cours du Kimméridgien. Néanmoins le cadre biochronologique reste à préciser pour préciser l'âge et la durée de ces phases climatiques.

En résumé les sédiments des « Marnes chocolats » se sont déposés sous un climat semi-aride à saison humide plus ou moins marquée.

Références

Aurell, M., Bádenas, B., Bosence, D.W.J., Waltham, D.A. (1998) Carbonate production and offshore transport on a Late Jurassic carbonate ramp (Kimmeridgian, Iberian basin, NE Spain) : évidence from outcrops and computer modelling. In : Wright, V.P. & Burchette, T.P. (eds) Carbonate ramps. Geological Society, London, Special Publications 149, 137-161.

Bádenas, B., Aurell, M., Pérez-Urresti, I., Delvene, G. (1998) Estratigrafía y evolución sedimentaria del Oxfordiense Superior-Titónico inferior en Riela (Zaragoza). Geogaceta 24, 35-38.

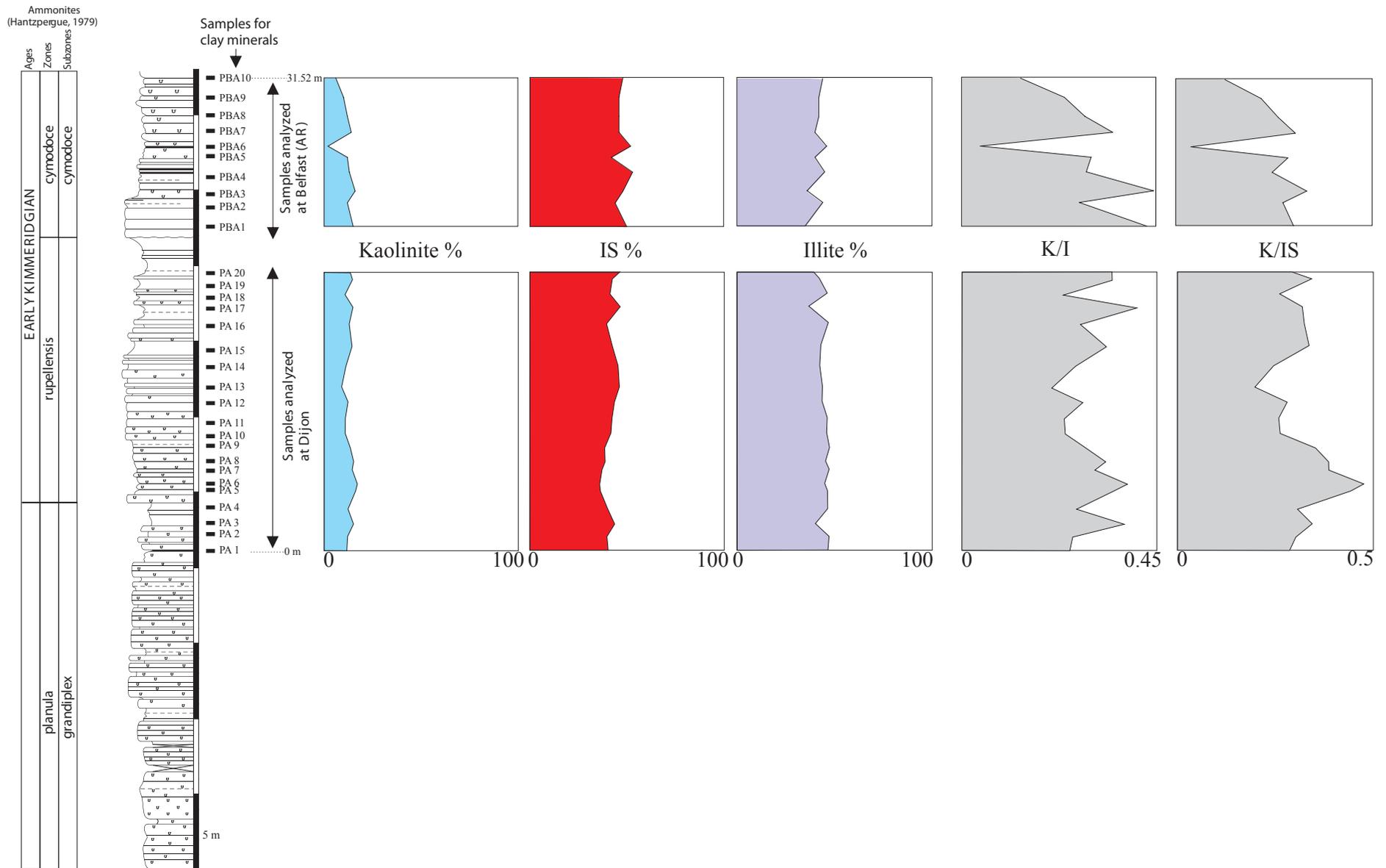
Baudin, F., Deconinck, J.-F., Gardin, S., Hantzpergue, P., Jan du Chêne, R., Schnyder, J., Vidier, J.-P. (2002). Stratigraphie intégrée du Kimméridgien inférieur du Boulonnais et de Normandie (France). Comparaison avec les coupes stratotypiques du Dorset (GB). Strati 2002, 3^{ème} congrès français de stratigraphie, Lyon, 8-10 Juillet 2002. Vol. résumés, Gaillard, C. et Hantzpergue, P.(coord.), Doc. Lab. Géol. Lyon, **156**, p. 32.

Saint-Germès, M., Baudin, F., Deconinck, J.-F., Hantzpergue, P., Samson, Y. (1996). Sédimentologie de la matière organique et des argiles du Kimméridgien de Normandie (region du Havre). *Géologie de la France*, **3**, p. 21-33.

Schnyder, J., 2003. Le passage Jurassique/Crétacé: Evénements instantanés, variations climatiques enregistrées dans les faciès purbeckiens français (Boulonnais, Charentes) et anglais (Dorset). Comparaison avec le domaine téthysien. PhD, Lille1 University, France, 389 pp.

“Pas” section

Figure 1
Minéralogie des argiles
Pas



Rocher d'Yves section

Ammonites
(Hantzpergue, 1979)



Samples for clay minerals
1 m

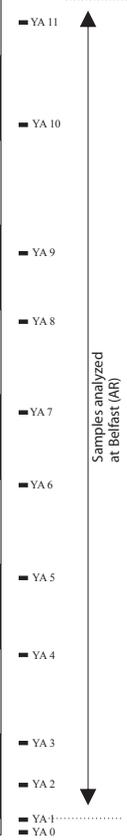


Figure 2
Minéralogie des argiles
Rocher d'Yves

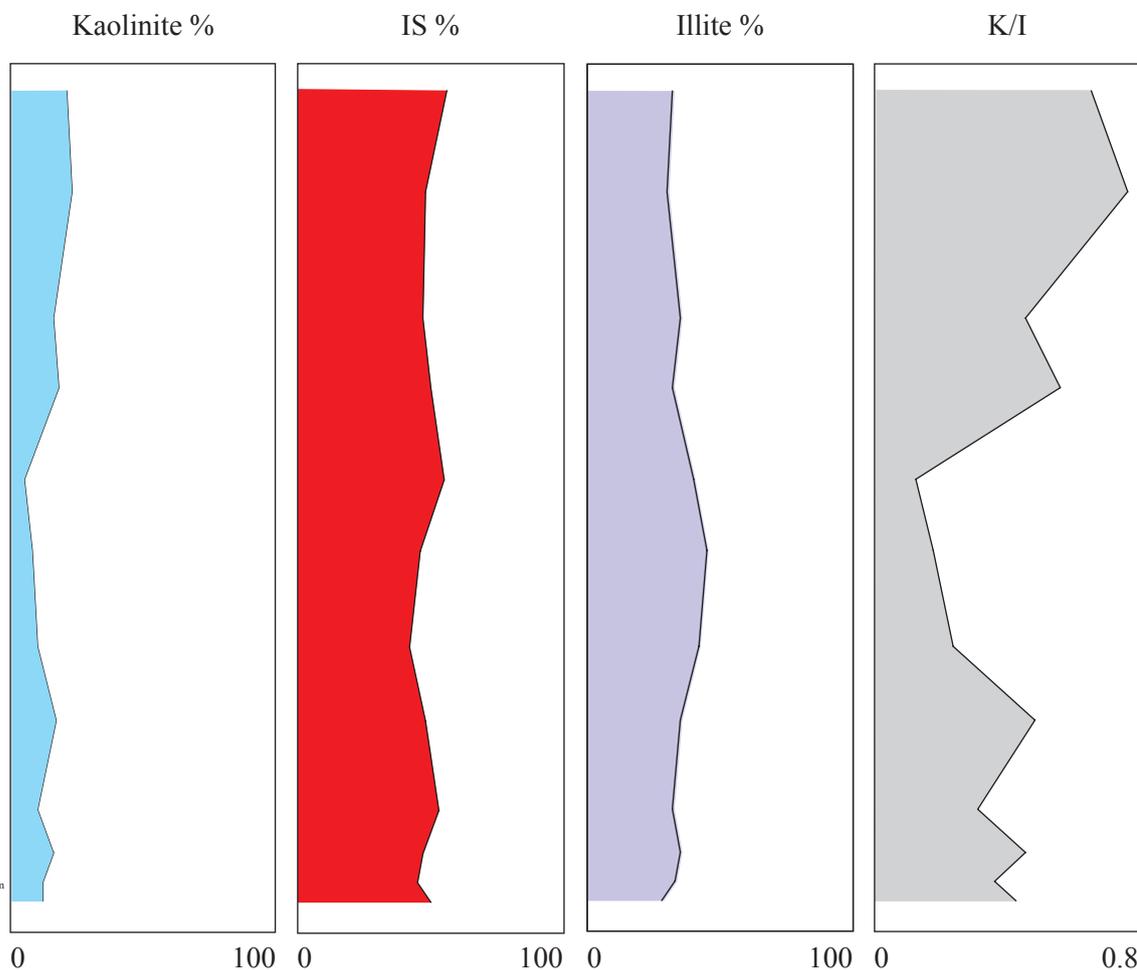
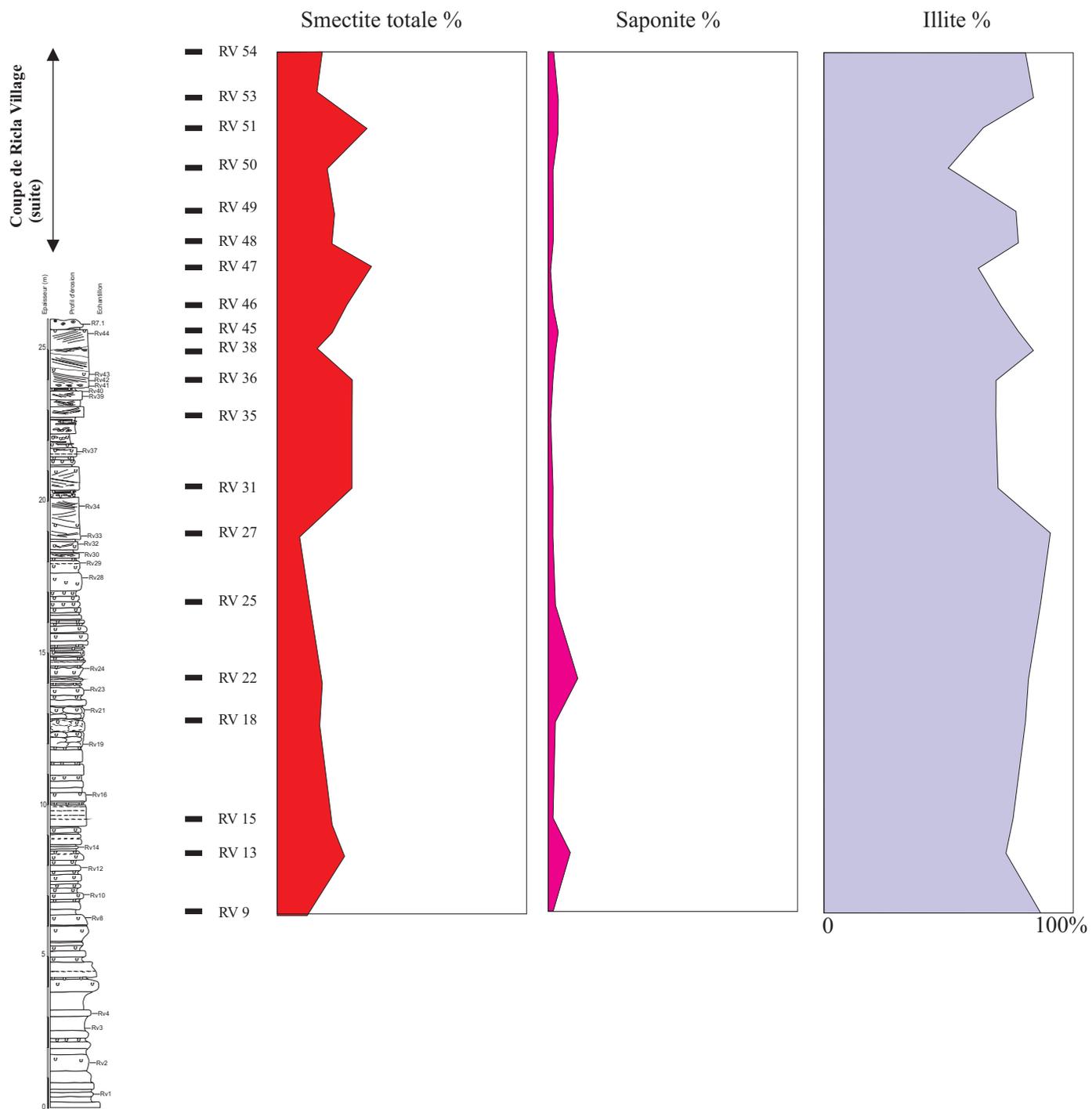
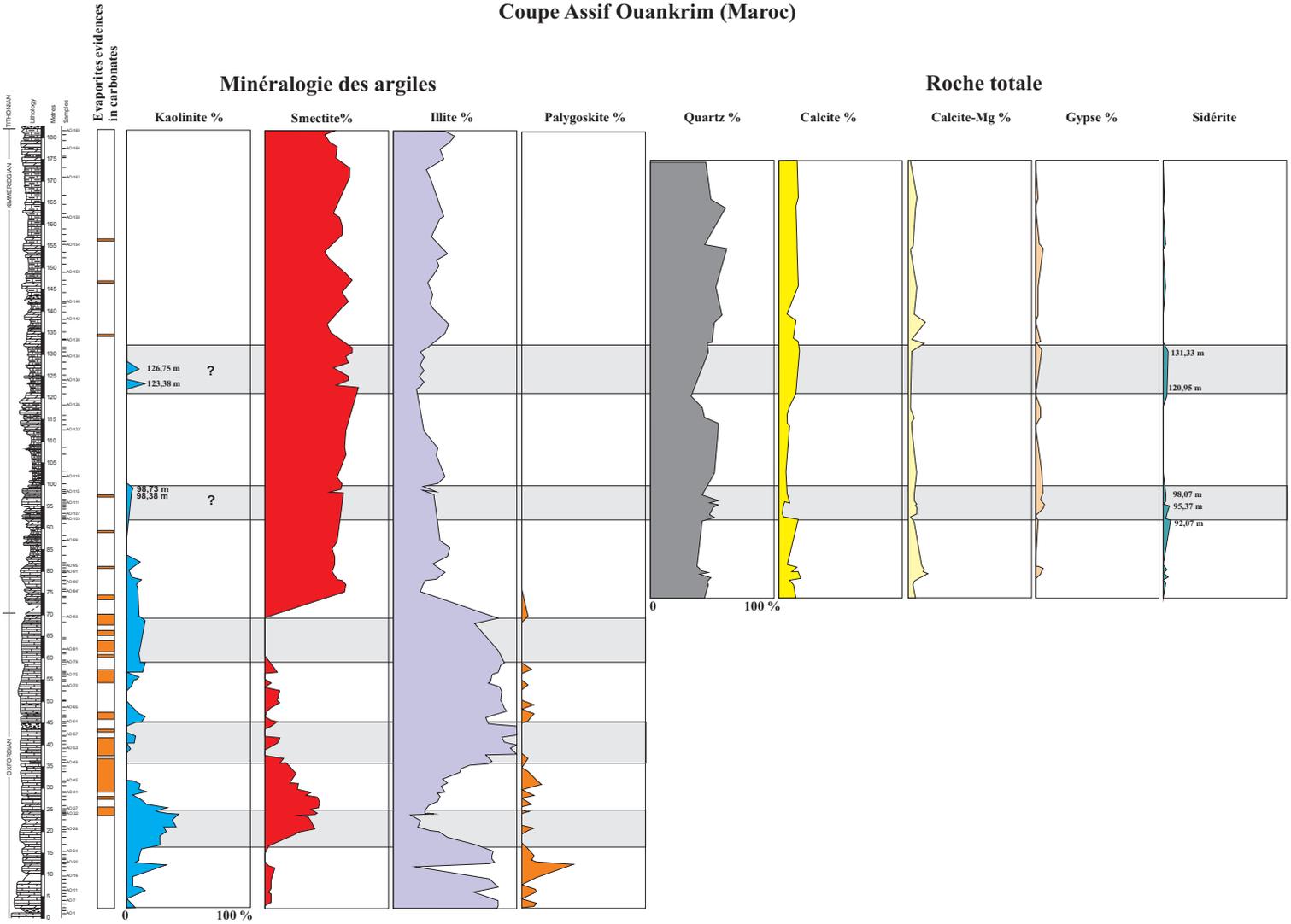


Figure 4
Minéralogie des argiles
Ricla Village



“Assif Ouankrim” section

Figure 5
Minéralogie des argiles et minéralogie roche totale
Coupe Assif Ouankrim (Maroc)



ANALYSES DES COMPOSITIONS ISOTOPIQUES EN CARBONE ET OXYGENE DU KIMMERIDGIEN INFÉRIEUR ET SUPÉRIEUR DE L'OUEST DE LA FRANCE

(Claude Colombié, Université de Genève et MnHn)

1. Matériel et méthode

Les échantillons sont des coquilles de brachiopodes (essentiellement de la coupe des Pas) et d'huîtres (pour les coupes du Chay et du Rocher d'Yves). Les brachiopodes sont essentiellement des térébratules. Seul l'échantillon ChH3 est une rhynchonelle. Les huîtres appartiennent à 4 espèces différentes : les huîtres qui encroûtent (huîtres 1), celles en forme d'écu (huîtres 2), les japonaises (huîtres 3) et les nanogyres (huîtres 4) (Pl. 1). Les huîtres en forme d'écu composent plus de la moitié des échantillons d'huîtres prélevés. 3 brachiopodes par niveau et 2 huîtres par espèce et jusqu'à 4 par niveau ont été analysés.

L'analyse en cathodoluminescence de 40 lames minces réalisées parallèlement à l'axe de croissance des coquilles de brachiopodes et d'huîtres permet d'estimer leur préservation. Les lames minces comme les analyses ont été réalisées au Département de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Genève. L'analyse en cathodoluminescence (CL8200 Mk5-1 optical cathodoluminescence system operating manual) de l'échantillon PbH7-1 (térébratule) montre que la deuxième couche des térébratules (tendre et formée de calcite irisée) est bien préservée de la diagenèse. La préservation de l'échantillon ChH3-2 (rhynchonelle) semble à l'inverse plutôt mauvaise (Pl. 2). Les térébratules ont été lavés à l'eau déminéralisée dans un bain à ultrasons (3 fois 10 à 15 s en changeant l'eau entre deux bains). La deuxième couche a été prélevée au centre de la coquille la plus développée, à l'écart de la charnière et de l'empreinte des muscles. La préservation des coquilles d'huîtres varie d'une espèce à l'autre et à l'intérieur même d'une espèce. Les parties les mieux préservées ont été échantillonnées à l'aide du Microdrill du Département de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Genève (Pl. 2). Trente cinq analyses des isotopes stables de l'oxygène et du carbone ont été réalisées au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris par Joël Ughetto (Tab. 1). Elles sont calibrées par rapport au standard NBS19 et exprimées en ‰ V-PDB (Vienna Pee Dee Belemnite) sur la base du standard interne « MarbreLM ». La précision des analyses est 0,02‰ pour le $\delta^{13}\text{C}$ et 0,04‰ pour le $\delta^{18}\text{O}$. 50 microgrammes suffisent pour l'analyse des isotopes stables de l'oxygène et du carbone. Certaines coquilles, cependant, trop petites ou trop mal préservées n'ont pas permis de prélever une quantité suffisante pour réaliser les analyses (ChH1-1 (CC2 et CC3), ChH2 (CC7-2), et ChH3, ChH4 (CC9 et CC10)). En dépit du manque de matériel, l'échantillon ChH3 (CC6) a été analysé mais les résultats obtenus ne sont pas fiables. Seuls les échantillons CC4 (ChH2), CC11 (ChH5) et CC13 (ChH5) présentent une bonne préservation et ont été échantillonnés en quantité suffisante. Ils pourront servir d'échantillons de référence pour l'interprétation des résultats.

Les brachiopodes et les huîtres forment leur coquille en équilibre avec l'eau de mer. Les valeurs du $\delta^{18}\text{O}$ permettent de calculer la température. Plusieurs équations existent. Certaines sont mieux adaptées que d'autres aux mollusques mais l'équation la plus utilisée est celle de Epstein et al. (1953) mise à jour par Anderson & Arthur (1983) :

$$T^{\circ}\text{C} = 16,0 - 4,14(\delta^{18}\text{O}_{\text{carbonate}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{eau de mer}}) + 0,13(\delta^{18}\text{O}_{\text{carbonate}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{eau de mer}})^2 \quad (\text{T1})$$

Cette équation a également été revue et corrigée par Auclair et al. (2003) dans le cadre de leur étude sur les isotopes du carbone et de l'oxygène de coquilles de brachiopodes :

$$T^{\circ}\text{C} = 16,0 - 4,14(\delta^{18}\text{O}_{\text{carbonate}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{eau de mer}}) + 0,13(\delta^{18}\text{O}_{\text{carbonate}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{eau de mer}})^2 \quad (\text{T2})$$

Ces équations se basent d'une part sur les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ mesurées ($\delta^{18}\text{O}$ carbonate) mais également sur la composition isotopique de l'eau de mer au moment de la formation des coquilles ($\delta^{18}\text{O}$ eau de mer). Pour le Jurassique supérieur, la plupart des auteurs s'accordent sur l'absence de calotte polaire. Dans ce contexte, la composition isotopique de l'océan global était de -1‰ (Shackleton & Kennett, 1975) ou -1,2‰ (Zachos et al., 2001). Par ailleurs, les environnements de dépôts à l'Ouest de la France à cette époque étaient marins et ouverts sur le large. Par conséquent, la composition isotopique de l'eau de mer était probablement proche de voire identique à celle de l'océan global.

2. Résultats et interprétation

Les valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ et du $\delta^{18}\text{O}$ varient respectivement de 0,615 (PbH4-3) à 3,896‰ (CC6) et de -2,936 (PbH7) à -0,972‰ (PbH6-2) (Tbl. 1). Les valeurs moyennes du $\delta^{13}\text{C}$ et du $\delta^{18}\text{O}$ sont respectivement 2,287 et -1,674‰. Ces valeurs varient de manière importante d'un échantillon à l'autre pour le même niveau stratigraphique mais également d'une mesure à l'autre pour un même échantillon.

Etant donnée la grande variabilité des résultats obtenus, les températures ont été calculées pour chaque échantillon analysé en utilisant l'une et l'autre des équations (T1 et T2 pour les brachiopodes ; uniquement T1 pour les huîtres) et les compositions isotopiques de l'eau de mer (T1-1 et T1-2 pour $\delta^{18}\text{O}_{\text{eau de mer}} = -1$; T1-2 et T2-2 pour $\delta^{18}\text{O}_{\text{eau de mer}} = -1,2$) présentées ci-dessus et ont été moyennées par niveau stratigraphique, pour les brachiopodes d'une part et pour les huîtres d'autre part.

Pour les brachiopodes, les températures obtenues varient de 16,394 à 21,376°C (Tbl. 1), la moyenne étant égale à 18,7°C ; pour les huîtres, de 18,208 à 20,992°C, la moyenne étant égale à 20,12°C. Les températures calculées sont plus basses dans la partie supérieure de la coupe des Pas que dans les coupes du Chay et du Rocher d'Yves (Fig. 1). Elles augmentent puis diminuent dans la partie supérieure de la coupe des Pas comme dans la coupe du Chay puis augmentent de nouveau à la base de la coupe du Rocher d'Yves. La température la plus haute correspond à l'échantillon de coquille d'huître ChH2, prélevé dans la coupe de la Pointe du Chay et faisant partie des échantillons de référence.

3. Discussion

Brigaud et al. (2008) ont étudié l'Oxfordien et le Kimméridgien inférieur du Bassin de Paris et mesuré les températures à partir du $\delta^{18}\text{O}$ de coquilles d'huîtres et de brachiopodes. Ils utilisent l'équation de Epstein et al. (1953) et 0‰ pour la composition isotopique de l'eau de mer et comparent leurs résultats à ceux obtenus par ailleurs ou sur du matériel de nature différente (bélemnites et dents de poisson). Les températures obtenues varient de 23 à 26,5°C pour les huîtres et de 25 à 27,5°C pour les brachiopodes (environ 4°C plus basses qu'en prenant une valeur du $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau de mer égale à 1‰). Elles sont beaucoup plus hautes que celles obtenues dans cette étude. Cependant, la plupart des études réalisées se basent sur peu de mesures, n'utilisent pas les mêmes équations et les mêmes valeurs pour la composition isotopique de l'eau de mer et présentent une grande variabilité intraspécifique et interspécifique des mesures pour un niveau stratigraphique donné.

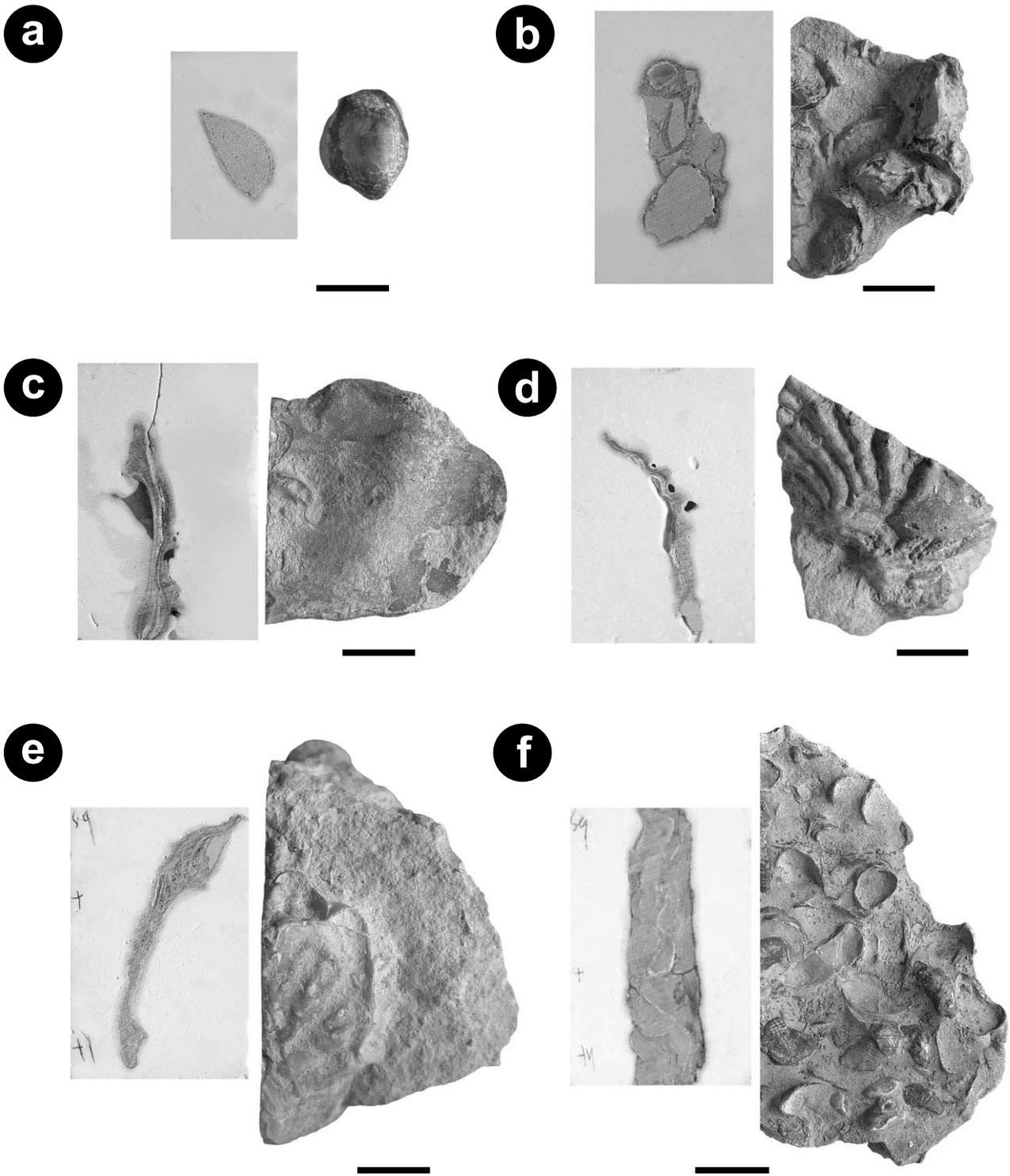
Riboulleau et al. (1998) et Lécuyer et al. (2003) ont étudié la totalité de l'intervalle étudié et montrent un réchauffement de la base au milieu de la zone d'ammonites à Cymodoce puis un refroidissement vers le Kimméridgien supérieur. Même si les valeurs de températures obtenues dans cette étude sont plus basses que celles mesurées par ailleurs, les tendances mises en évidence sont plutôt conformes à celles observées dans les domaines boréal (Riboulleau et al. 1998) et téthysien (Lécuyer et al., 2003). Ces enregistrements de température, plus continus que celui obtenu dans le cadre de la présente étude, peuvent donc être utilisés pour comparer l'évolution de la fréquence et de l'intensité des tempêtes préservées dans le Jurassique supérieur de l'Ouest de la France et de la température.

Les températures les plus hautes calculées à la base de la coupe du Chay pourraient en partie expliquer pourquoi les récifs coralliens, qui apprécient tout particulièrement les eaux chaudes, se sont développés à ce moment là.

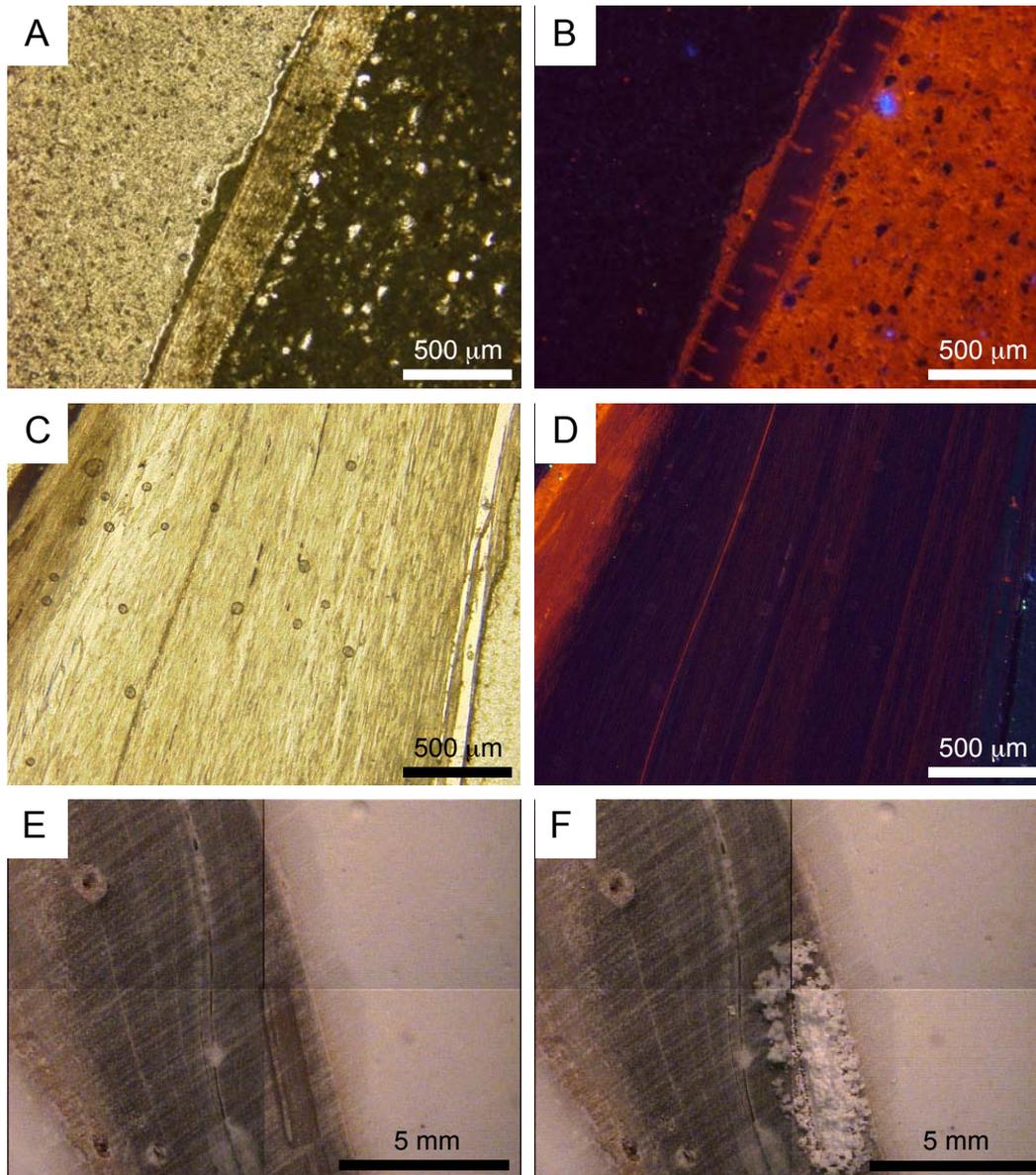
L'augmentation des températures suivie d'une diminution dans la partie supérieure de la coupe des Pas se produit à l'échelle d'un cycle de 400 ka et représente une variation à haute fréquence du climat.

4. Références

- Anderson, T.F., Arthur, M.A., 1983. Stable isotopes of oxygen and carbon and their application to sedimentologic and paleoenvironmental problems. In: Arthur, M.A., Anderson, T.F., Kaplan, I.R., Veizer, J., Land, L.S. (Eds.), *Stable Isotopes in Sedimentary Geology*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Short Course, vol. 10, pp. 1–151.
- Auclair, A.-C., Joachimski, M.M., Lécuyer, C., 2003. Deciphering kinetic, metabolic and environmental controls on stable isotope fractionations between seawater and the shell of *Terebratalia transversa* (Brachiopoda). *Chem. Geol.* 202, 59–78.
- Brigaud, B., Pucéat, E., Pellenard, P., Vincent, B., Joachimsky, M. M., 2008. Climatic fluctuations and seasonality during the Late Jurassic (Oxfordian–Early Kimmeridgian) inferred from $\delta^{18}\text{O}$ of Paris Basin oyster shells. *Earth and Planetary Science Letters* 273 (1-2), 58–67.
- Epstein, S., Buchsbaum, R., Lowenstam, H.A. & Urey, H.C. 1953. Revised carbonate-water isotopic temperature scale. *Geological Society of America Bulletin*, 64, 1315–1326.
- Hantzpergue, P., 1988. Les plates-formes récifales du Jurassique nord-aquitain. Guidebook GFEJ. Université de Poitiers, Poitiers. 71 pp.
- Lécuyer, C., Picard, S., Garcia, J.-P., Sheppard, S.M.F., Grandjean, P., Dromart, G., 2003. Thermal evolution of Tethyan surface waters during the Middle–Late Jurassic: evidence from $\delta^{18}\text{O}$ values of marine fish teeth. *Paleoceanography* 18.
- Olivier, N., Pittet, B., Werner, W., Hantzpergue, P., Gaillard, C., 2008. Facies distribution and coral-microbialite reef development on a low-energy carbonate ramp (Chay Peninsula, Kimmeridgian, western France). *Sedimentary Geology* 205, 14–33.
- Pittet, B., 1996. Contrôles climatiques, eustatiques et tectoniques Riboulleau, A., Baudin, F., Daux, V., Hantzpergue, P., Renard, M., Zakharov, V., 1998. Evolution de la paléotempérature des eaux de la plate-forme russe au cours du Jurassique supérieur. *C. R. Acad. Sci.* 326, 239–246.
- Shackleton, N.J., Kennet, D.J., 1975. Paleotemperature history of the Cenozoic and initiation of Antarctic glaciation: oxygen and carbon isotope analyses in DSDP sites 277, 279 and 289. *Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj.* 29, 743–755.
- Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E. & Billups, K. 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science*, 292, 686–693.



Pl. 1: Transversal (on the left) and plan (on the right) macroscopic views of analysed brachiopod and oyster shells. a) Brachiopod (*Terebratalia*), sample PbH7. b) Oyster 1, sample PbH7. c) Oyster 2, sample ChH5. d) Oyster 3 (type 1), sample ChH5. e) Oyster 3 (type 2), sample ChH5. f) Oyster 4, sample YH1. The length of the black line is 1 cm.



Pl. 2: Plain light and cathodoluminescence photomicrographs of shells of *Terebratalia* (sample PbH7; photo A and B, respectively) and oyster 2 (sample ChH3; photo C and D, respectively), and photomicrographs of shell of oyster 2 (sample ChH3) before and after microdrilling (photo E and T, respectively).

| Level | Section | Metre | Shell type | $\delta^{13}\text{C}$ | | | | $\delta^{18}\text{O}$ | | | | Temperature |
|-------|---------------|-------|---------------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----------------------|------|------|------|-------------|
| | | | | s1 | s2 | s3 | s4 | s1 | s2 | s3 | s4 | |
| PbH2 | Pas | 3,5 | <i>Terebratalia</i> | 2,0 | 1,6 | 3,0 | | -1,3 | -1,5 | -1,3 | | 17,6 |
| PbH3 | Pas | 4,3 | <i>Terebratalia</i> | 2,6 | 2,0 | 2,5 | | -1,7 | -1,1 | -1,9 | | 18,4 |
| PbH4 | Pas | 5,8 | <i>Terebratalia</i> | 1,6 | 1,3 | 0,6 | | -1,6 | -1,3 | -2,3 | | 19,1 |
| PbH5 | Pas | 6,0 | <i>Terebratalia</i> | 2,0 | 2,2 | 2,1 | | -2,1 | -2,0 | -1,6 | | 19,8 |
| PbH1 | Pas | 6,4 | <i>Terebratalia</i> | 1,3 | 2,3 | 1,2 | | -2,2 | -1,6 | -1,6 | | 19,4 |
| PbH6 | Pas | 7,8 | <i>Terebratalia</i> | 1,2 | 3,0 | 2,1 | | -1,3 | -1,0 | -1,0 | | 16,4 |
| PbH7 | Pas | 9,1 | <i>Terebratalia</i> | 2,2 | 1,9 | 1,2 | | -1,2 | -1,3 | -1,6 | | 17,6 |
| ChH4 | Chay | 9,8 | <i>Terebratalia</i> | 2,7 | 2,6 | 2,4 | | -1,3 | -2,7 | -2,6 | | 21,4 |
| PbH7 | Pas | 9,1 | Oyster | 2,7 | 3,0 | | | -2,9 | -1,3 | | | 20,4 |
| ChH2 | Chay | 3,9 | Oyster | 3,9 | 3,1 | | | -1,7 | -2,6 | | | 20,5 |
| ChH3 | Chay | 9,3 | Oyster | 3,4 | | | | -2,0 | | | | 19,9 |
| ChH5 | Chay | 18,6 | Oyster | 3,5 | 3,2 | 3,3 | 3,2 | -1,2 | -1,3 | -1,3 | -2,3 | 17,8 |
| YH1 | Rocher d'Yves | 0,2 | Oyster | 1,8 | | | | -2,0 | | | | 19,7 |

Tab. 1: Carbon and oxygen isotope compositions (in ‰ V-PDB) measured from 1 to 4 samples (s1 to s4) of brachiopods (*Terebratalia*) and oysters per stratigraphic level and temperatures deduced (in °C).

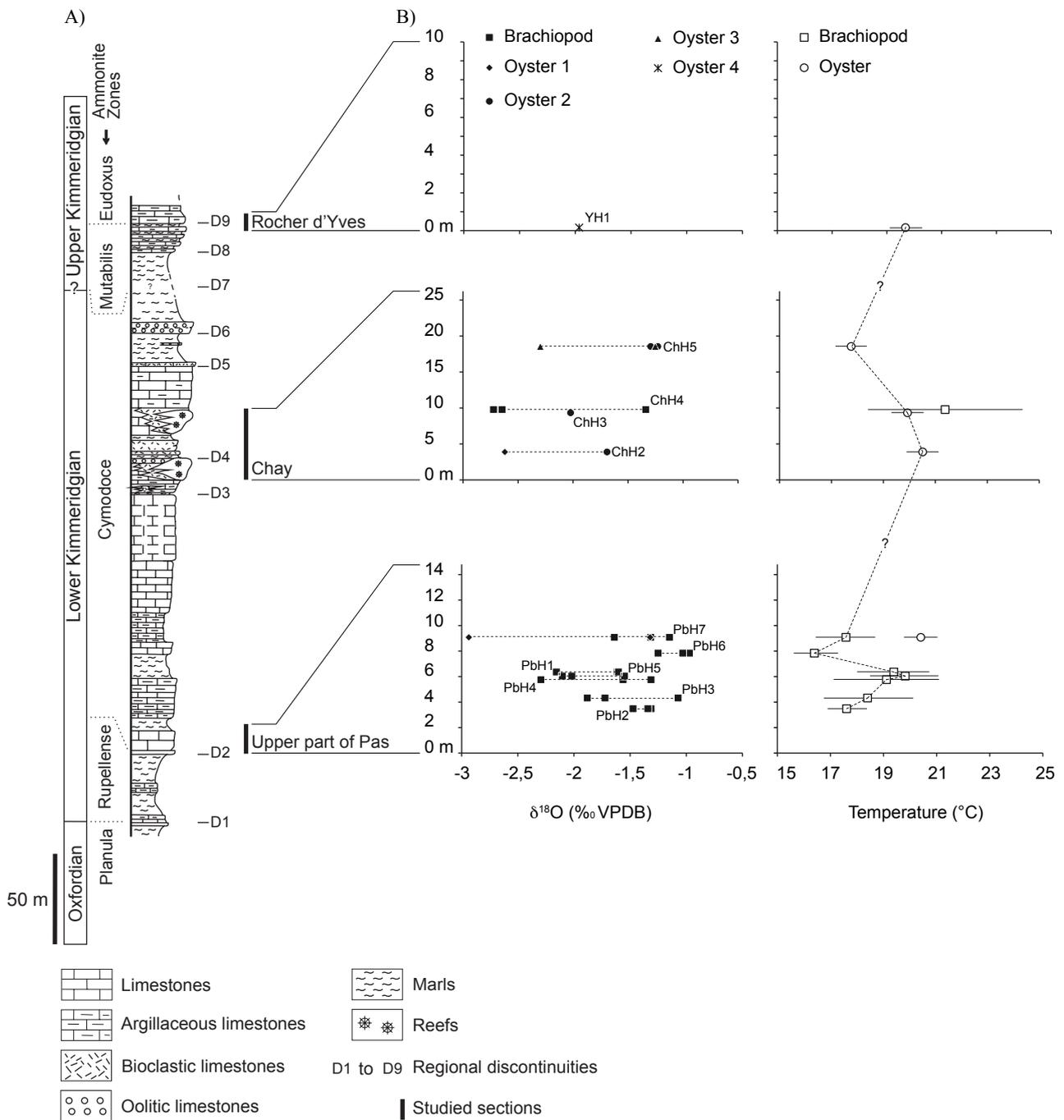


Fig. 1: A) Synthetic section of La Rochelle modified according to Hantzpergue (1988) and Olivier et al. (2008); B) $\delta^{18}\text{O}$ values measured from brachiopods and oysters and temperatures deduced.

Shallow-water marl-limestone couplets in the Late Jurassic of western France: cycles, storm event deposits or both?

Claude Colombié ^{a,*}, Johann Schnyder ^b, Damien Carcel ^a

^a CNRS UMR 5125 PEPS, Université Lyon 1, La Doua, bâtiment Géode, 69622 Villeurbanne cedex, France

^b Université Pierre et Marie Curie-Paris 6, case 117, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France

ABSTRACT

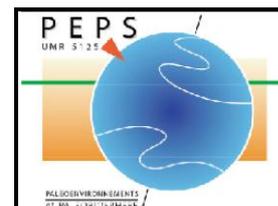
The contribution of event deposits to various basin fills can be very significant, higher in some cases to 90 %. Events may lead to the formation of marl-limestone couplets, which can also result from cyclic changes in sea level or climate, for example. The marl-limestone couplets of the Late Jurassic of western France contain abundant coarse-grained accumulations that resemble storm deposits described in other western European successions. The detailed sedimentological and high-resolution sequence stratigraphical interpretations of the Phare de Chassiron section (Oléron Island, western France) allow the combined effects of storms and changes in sea level and climate on sedimentation to be defined. This section contains marginal and shallow-marine mud deposits that were exposed to high-energy events. Elementary, small-, and medium-scale depositional sequences are defined. The stacking-pattern and the duration of these sequences suggest an orbital control on sedimentation. Precession (20 ka) cycles notably controlled the formation of marl-limestone couplets that correspond to elementary sequences. The deposition of marly or carbonate mud occurred in this storm-dominated system because of the gentle slope of the shelf and the great amount of particles in suspension, which reduced water energy resulting from storms, and the predominance of fine-grained sediment supply. The latter was probably sufficiently enough to outpace bioturbation and favour the preservation of numerous storm deposits intercalated into mud deposits. The production of carbonate mud was localised on positive structures and partly controlled by Milankovitch-scale sea-level cycles. Storm transport of carbonate mud to the adjacent marly depressions during high carbonate production periods led to the formation of marl-limestone couplets. Marl-limestone couplets in the Late Jurassic of western France therefore result from the combined effects of cyclic changes in carbonate production and high-energy events.

Keywords: Late Jurassic, western France, inner mixed siliciclastic-carbonate ramp, marl-limestone alternation, sea level, climate, storm

Master Sciences de la Terre et de l'Environnement
Mention Paléontologie Sédimentologie Paléoenvironnements
Stage de Recherche obligatoire.
BOUSSAHA Myriam.

**SIGNIFICATION PALEOENVIRONNEMENTALE DES DEPÔTS CARBONATES DU JURASSIQUE SUPERIEUR
DU NE DE L'ESPAGNE (Approche micropaléontologique).**

Encadrants : GIRAUD Fabienne, MC, UMR CNRS 5125 PEPS, UCBL Lyon 1.
COLOMBIE Claude, MC, UMR CNRS 5125 PEPS, UCB Lyon 1.



Année universitaire 2009-2010.

Introduction :

La coupe étudiée est située à proximité du village de Riela (Nord-Est de l'Espagne). Cette coupe de 102m est formée de dépôts du Jurassique supérieur (Oxfordien). Ces dépôts composés d'alternances marno-calcaires caractérisent des environnements marins peu profonds, et sont situés dans la partie médiane d'une rampe carbonatée, située dans la partie nord-est du bassin ibérique. Cette coupe a déjà été levée et datée par ammonites par Delvene (2001), qui la situe dans la zone à Planula. Les intervalles sous- et sus-jacents ont été étudiés par Strasser et al. (2005), pour l'Oxfordien moyen et supérieur (de la zone à Transversarium à la base de la zone à Planula), et par Bádenas & Aurell (2001a), pour le Kimméridgien supérieur (zone à Eudoxus). Ils ont proposé une interprétation sédimentologique et séquentielle des dépôts pour ces intervalles. Par contre, aucune information précise sur les paléoenvironnements de l'Oxfordien supérieur du Nord-Est du bassin ibérique n'est disponible actuellement. Bádenas & Aurell (2005) ont mesuré la composition en isotopes stables des dépôts du Kimméridgien supérieur. Ils ont également défini des cycles de variation du niveau marin à haute fréquence, qui résulteraient des variations des paramètres orbitaux de la Terre. Par contre, aucune information concernant les conditions paléoclimatiques régnant à l'Oxfordien supérieur dans cette région de l'Espagne n'existe à l'heure actuelle.

Les objectifs de ce travail de recherche sont donc d'étudier les assemblages de nannofossiles calcaires pour préciser les conditions paléoenvironnementales qui prévalaient à l'Oxfordien supérieur, et mettre en évidence d'éventuels changements paléoclimatiques.

Contexte géologique global:

Brigaud et al. (2008) ont mis en évidence une augmentation de la température entre l'Oxfordien moyen/supérieur (avec une valeur moyenne de 17°C) et le Kimméridgien (avec une valeur moyenne de 24°C). Abbink et al. (2001) ont mis en évidence une évolution climatique entre la période relativement froide et humide du Callovien à l'Oxfordien inférieur et la période plus chaude et plus aride s'étendant de l'Oxfordien moyen au Kimméridgien inférieur.

Du point de vue géodynamique, la région ibérique était soumise à de nombreuses phases d'activité tectonique (extension des bassins ibérique et basque cantabrique et phase de subsidence post-rifting) au cours du Jurassique supérieur. Ces phases ont été corrélées aux différentes étapes de l'ouverture de l'Atlantique central de la Téthys occidentale (Bádenas & Aurell, 2001a).

A l'Oxfordien, la zone étudiée était située dans le bassin ibérique, bordé par les massifs ibérique au Sud-Ouest et de l'Ebre au Nord-Est. Relié au bassin basque-cantabrique, ouvert sur le domaine atlantique, via le canal de Soria, le bassin ibérique était également ouvert sur le domaine téthysien (Fig.1). Le bassin ibérique était alors essentiellement rempli par les dépôts marneux de la Formation Sot de Chera (Bádenas & Aurell, 2001b).

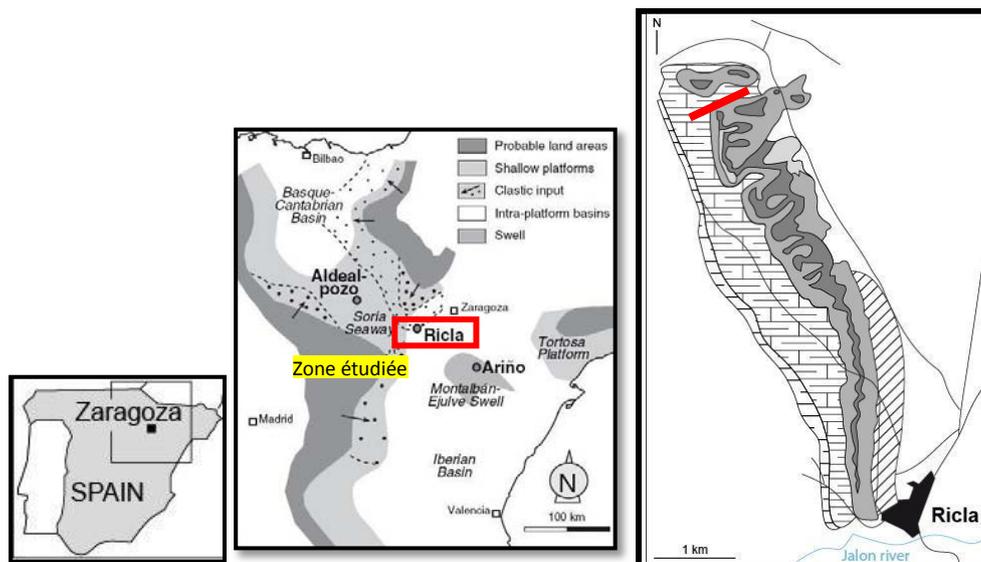


Fig.1 : Carte paléogéographique de l'Oxfordien moyen-supérieur du Nord-Est de l'Espagne, ainsi que la localité de la coupe étudiée (Aurell et al. 2003).

Matériels et méthodes :

Les analyses ont été réalisées sur une série d'échantillons prélevés dans différentes lithologies, correspondant aux alternances marnes-calcaires de la coupe de Ricla. L'échantillonnage a été réalisé tout le long de la coupe, à intervalle régulier de 1 à 2 mètres.

Le pourcentage en carbonate de calcium (CaCO_3) a été calculé sur 40 échantillons à partir de la mesure du dégagement de CO_2 lors de la réaction de 300 mg de roche, préalablement réduite en poudre, avec environ 10 ml d'HCl, dilué à 1N. Trente deux lames ont été confectionnées, selon la méthode des boîtes de décantation, mise au point par Beaufort (1991) et adaptée par Geisen et al. (1999), pour l'étude des nannofossiles calcaires. Cette méthode permet de calculer des abondances absolues de nannofossiles par gramme de roche. Le comptage des nannofossiles a été effectué sous microscope optique polarisant au grossissement X 1250 ; entre 150 et 300 nannofossiles par lames ont été comptés en prenant en compte le nombre de champs de vues. La préservation des nannofossiles a été évaluée, elle est considérée comme modérée (quand les nannofossiles sont modérément dissous et recristallisés) à mauvaise (quand les nannofossiles sont fortement dissous et recristallisés). La richesse spécifique, la diversité caractérisée par l'indice de Shannon et l'équitabilité, ainsi que les abondances relatives des taxons les plus abondants ont été calculées sous le logiciel Statview. La taxonomie appliquée dans cette étude suit celle de Bown & Cooper (1998). Les différents morphotypes reconnus pour l'espèce *Watznaueria britannica* par Giraud et al. (2006) ont été différenciés.

Résultats (Fig.2):

La teneur en CaCO_3 est comprise entre 16,74 et 60,99 %. La partie inférieure de la coupe, entre 1 et 15 m, est caractérisée par des teneurs en CaCO_3 plus faibles par rapport à la partie supérieure de la coupe, entre 34 et 96 m, et par de nombreux niveaux gréseux.

Aucune variation significative de la préservation n'a été observée entre les faciès les plus calcaires et les faciès les plus argileux.

L'abondance absolue en nannofossiles est comprise entre 1,84E6 et 3,23E8 individus/g de roche. Elle décroît depuis la base vers le sommet de la coupe, et est inversement corrélée au % en CaCO_3 .

Les taxons les plus fréquemment rencontrés dans cette coupe sont par ordre décroissant d'abondance absolue moyenne : *Watznaueria britannica* morphotype A (9,63E6), *W. barnesiae* (6,14E6), *W. britannica* B (4,5E6),

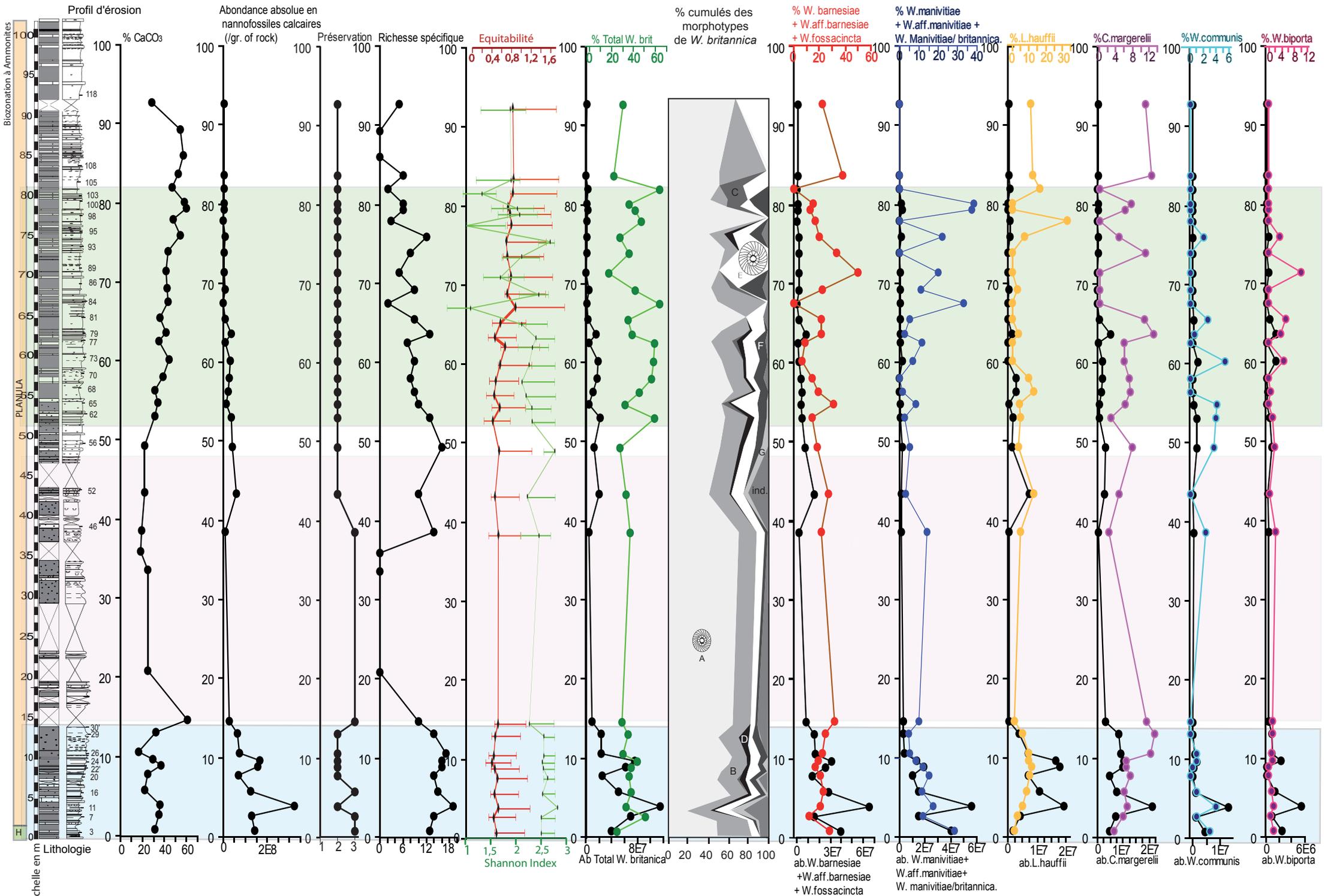


Figure 2: Log stratigraphique et lithologique de la coupe Ricla Barranco. Le CaCO₃ (en %), l'abondance absolue en nanfossiles calcaires, la préservation, la richesse spécifique, l'équitabilité, l'indice de Shannon, ainsi que les abondances absolues et relatives des espèces dominantes y sont représentés. La zone bleue correspond à la partie inférieure de la coupe (grésuse). La zone verte correspond à la partie supérieure de la coupe (non grésuse). La zone mauve présente de nombreuses lacunes. Dans la biozonation à Ammonites, la partie verte (H) correspond à la zone à Hauffianum, et la partie orange à la zone à Planula.

Lotharingius hauffii (3,44E6), *Cyclagelosphaera margerelii* (3,39E6), *W. aff barnesiae* (3,19E6), *W. aff manivittiae* (3,12E6), *W. manivittiae* (2,75E6), *W. britannica* E (2,28E6), *W. manivittiae/britannica*, (2,27E6), *C. wiedmanii* (1,31E6), *W. britannica* F (1,18E6), *W. communis* (8,91E5), *W. fossacincta* (8,87E5), *W. biporta* (6,19E5), *W. britannica* D (6,09E5), *W. britannica* G (5,19E5), *L. velatus* (2,56E5), *L. frodoï* (2,86E5), *W. britannica* C (7,94E4). Les autres genres reconnus (*Similiscutum*, *Biscutum*, *Discorhabdus*, *Axopodorhabdus*, *Mazaganella*) sont assez rares avec des abondances absolues de l'ordre de 10E3 à 10E4.

Watznaueria britannica est l'espèce dominante ; elle est représentée essentiellement par les petits morphotypes (A et B). Depuis la base jusqu'au sommet de la coupe, on observe une diminution des taxons de petite taille (entre 2,86 et 6µm, représentés par *W. britannica* A et B, et *L. hauffii*) associée à une augmentation des taxons de grande taille (entre 6µm et 13µm, représentés par *W. barnesiae*, *W. manivittiae*, *W. britannica* morphotypes C, D, E, F, G et *W. aff. manivittiae*). De plus, les abondances absolues et relatives des taxons de petite taille par rapport aux taxons de grande taille, sont plus importantes dans les bancs marneux que dans les bancs plus carbonatés.

La richesse spécifique varie entre 8 et 19 taxons par échantillon. Elle ne présente pas de variations significatives le long de la coupe, et suit les mêmes tendances que l'abondance absolue en nannofossiles. L'indice de Shannon varie entre 2,82 à la base de la coupe et 1,01 au sommet de la coupe. L'équitabilité présente des valeurs autour d'une moyenne de 0,65.

Discussion :

Les variations de la teneur en CaCO₃ s'expliquent par les variations lithologiques observées. Les pourcentages en CaCO₃ les plus faibles correspondent aux dépôts de calcaires et marnes gréseuses. L'analyse des microfaciès a permis de mettre en évidence que dans les parties gréseuses, les quantités de quartz, de micas et de matière organique sont plus importantes que dans les parties non gréseuses (Mémoire M2 de Julianna N'Jock). De plus les quantités de grains de quartz et de micas diminuent de la base au sommet de la coupe. Cette diminution traduit le passage depuis des faciès proximaux à la base vers des faciès plus distaux au sommet (Bádenas & Aurell, 2001b), en réponse à une augmentation du niveau marin.

Les abondances absolues en nannofossiles décroissent depuis les environnements les plus proximaux vers les environnements les plus distaux. Aux apports terrigènes, plus importants dans les environnements proximaux de la rampe (dans la partie inférieure de la coupe) que dans les zones distales (dans la partie supérieure de la coupe), sont généralement associés des nutriments qui expliqueraient les plus fortes abondances de nannofossiles observées. Les taxons de petite taille, caractéristiques de conditions mésotrophes à eutrophes (Giraud et al., 2009), sont également plus abondants dans la partie inférieure de la coupe alors que les taxons de grande taille, caractéristiques de conditions plus oligotrophes (Giraud et al., 2009) augmentent vers le sommet de la coupe lorsque l'environnement devient plus distal. Les variations observées dans les conditions trophiques pourraient refléter un changement des conditions climatiques, depuis une période plus froide et humide à la base, se traduisant par des conditions mésotrophes au niveau des eaux de surface de la rampe, vers une période plus chaude et plus aride au sommet se traduisant par des conditions oligotrophes.

En effet, Brigaud et al. (2008), en analysant le δ¹⁸O de coquilles d'huîtres dans le bassin de Paris, et Abbink et al. (2001), à partir des différents assemblages de pollens en Mer du Nord, ont montré les mêmes variations climatiques.

La corrélation inverse entre le CaCO₃ et l'abondance absolue s'explique par le fait que la production carbonatée pélagique est mineure, une partie du CaCO₃ peut-être liée à l'export des carbonates depuis les zones proximales de la rampe carbonatée vers les zones distales, et à la production carbonatée benthique (Bádenas & Aurell, 2001b).

Conclusion :

L'étude des nannofossiles calcaires de la coupe de Riela a permis de mettre en évidence des changements paléoenvironnementaux sur la rampe carbonatée située au Nord-Est du bassin Ibérique, au cours de l'Oxfordien supérieur, dans la zone à Planula.

La distribution des nannofossiles calcaires est corrélée aux variations lithologiques à long terme entre des environnements plus silicoclastiques à la base et des environnements plus carbonatés au sommet. Cette distribution

permet de mettre en évidence des changements dans les conditions trophiques des eaux de surface de la rampe carbonatée depuis des conditions mésotrophes à la base vers des conditions oligotrophes au sommet.

Les variations observées pourraient être le résultat d'un couplage entre une augmentation du niveau marin relatif et un changement climatique. Entre une période plutôt humide et froide (pendant laquelle les apports en nutriments et matière organique sont élevés), et une période plus aride et chaude (où les apports en nutriments et matière organique sont plus limités) enregistrées dans le Jurassique supérieur. Ces changements sont corrélables à l'échelle régionale. En effet, les mêmes tendances ont été observées dans le bassin de Paris (Brigaud et al. 2008) et en Mer du Nord (Abbink et al. 2001) à partir d'autres proxies.

Perspectives :

Des analyses sur les palynofaciès seront nécessaires pour supporter les variations observées, en particulier pour caractériser la diminution des apports détritiques terrigènes.

Le cadre séquentiel devra être mieux contraint avec en particulier une analyse cyclostratigraphique, ce qui permettra de mettre en évidence d'éventuels cycles climatiques.

Des corrélations précises à l'échelle régionale seront également nécessaires pour discriminer le rôle des facteurs locaux ou globaux à l'origine des variations observées.

Bibliographie:

- Abbink, O., Targarona, J., Brinkhuis, H., Visscher, H., 2001. Late Jurassic to earliest Cretaceous paleoclimatic evolution of the southern North Sea. *Global and Planetary Change* 30 (3-4) 231-256.
- Bádenas, B., Aurell, M., 2001a. Kimmeridgian palaeogeography and basin evolution of northeastern Iberia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 168. 291-310.
- Bádenas, B., Aurell, M., 2001b. Proximal-distal facies relationships and sedimentary processes in a storm-dominated carbonate ramp (Kimmeridgian, northwest of the Iberian Ranges, Spain). *Sedimentary Geology* 139 (3-4) 319-342.
- Bádenas, B., Aurell, M., Rodríguez-Tovar, F.J., Pardo-Igúzquiza, E., 2003. Sequence stratigraphy and bedding rhythms of an outer ramp limestone succession (Late Kimmeridgian, Northeast Spain). *Sedimentary Geology* 161, 153-174.
- Bádenas, B., Aurell, M., Gröcke, R. D., 2005. Facies analysis and correlation of high-order sequences in middle-outer ramp successions: variations in exported carbonate on basin-wide $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ (Kimmeridgian, NE Spain). *Sedimentology* 52, 1253-1275.
- Beaufort, L. 1991. Adaptation of a random settling method for quantitative studies of calcareous nannofossil. *Micropaleontology* 37, 415-418.
- Bown, P.R., Cooper, M.K.E. 1998. Jurassic. In: Bown, P.R. (Ed.), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. British Micropaleontological Society Series. Kluwer Academic Press, Dordrecht, 34-85.
- Brigaud, B., Pucéat, E., Pellenard, P., Vincent, B., Joachimsky, M. M., 2008. Climatic fluctuations and seasonality during the Late Jurassic (Oxfordian-Early Kimmeridgian) inferred from $\delta^{18}\text{O}$ of Paris Basin oyster shells. *Earth and Planetary Science Letters* 273 (1-2) 58-67.
- Delvene, G., 2001. Los bivalves del Jurásico Medio y Superior en la Cordillera Iberica (Espanã) : sistematica y Paleoecologia-Tesis Doct, Univ, Zaragoza, Dept. C. Tierra, 209 pp.
- Geisen, M., Bollmann, J., Herrle, J.O., Mutterlose, J., Young, J.R. 1999. Calibration of the random settling technique for calculation of absolute abundances of calcareous nannoplankton. *Micropaleontology* 45, 437-442.
- Giraud, F., Pittet, B., Mattioli, E., Audouin, V., 2006. Paleoenvironmental controls on the morphology and abundance of the coccolith *Watznaueria britannica* (Late Jurassic, southern Germany). *Marine micropaleontology* 60, 205-225.
- Giraud, F., Courtinat, B., Atrops, F., 2009. Spatial distribution patterns of calcareous nannofossil across the Callovian-Oxfordian transition in the French Subalpine Basin. *Marine Micropaleontology* 72, 129-145.
- Strasser, A., Aurell, M., Bádenas, B., Meléndez, G., Tomás, S., 2005. From platform to basin to swell: orbital control on sedimentary sequences in the Oxfordian, Spain. *Terra Nova*, 17, 407-413.

Remerciements:

Je tiens à remercier mes encadrantes, Fabienne Giraud et Claude Colombié, pour leur soutien tout le long de mon stage et leur précieuse aide quand j'étais perdue, leur présence, leur bonne humeur, toujours fraîches.

Merci à Emanuela Mattioli, Merci à Gatsby-Emperatriz, Merci à Baptiste, Merci à Camille Peybernes, Merci à Samer Kenjo, de m'avoir aidé à lutter dans la détermination des coccolithes, et aussi merci beaucoup pour toutes ces agréables journées passées dans la salle de microscope !!

Palynofacies of the Ricla and Ricla Barranco Sections, Spain

1. Material and Methods

47 samples of Late Oxfordian to Late Kimmeridgian age of the Ricla sections 3, 6, and 7 (20 samples) and of the Ricla Barranco and Ricla 2 sections (27 samples) were studied with respect to their sedimentary organic matter content. All samples were prepared using standard palynological processing techniques, including HCl (33%) and HF (73%) treatment for dissolution of carbonates and silicates, and saturated ZnCl₂ solution (D≈2.2 g/ml) for density separation. Residues were sieved at 15 µm mesh size. Slides have been mounted in Eukitt, a commercial, resin-based mounting medium.

For palynofacies analysis the sedimentary organic matter of the sections studied is grouped into a continental fraction including phytoclasts, pollen grains and spores, and a marine fraction composed of dinoflagellate cysts, acritarchs, prasinophytes and foraminiferal test linings. The relative percentage of these components is based on counting at least 400 particles per slide.

Three palynofacies parameters were calculated to detect stratigraphic changes in the composition of sedimentary organic matter reflecting eustatic signals: (1) the proportion of marine plankton. This parameter quantifies the percentage rate of dinoflagellate cysts, acritarchs and prasinophytes in the sedimentary organic matter. It is linked to the marine conditions of the water column, depending on distance to coastline, water depth, temperature, salinity, and nutrient availability; (2) the ratio of opaque to translucent phytoclasts (OP/TR ratio). Opaque phytoclasts (OP) partly consist of charcoal originating from forest fires, but mainly develop by oxidation of translucent phytoclasts (TR). Another source for opaque phytoclasts might be re-sedimentation of refractory particles. Generally, the ratio of opaque to translucent phytoclasts increases basin-ward due to fractionation processes and the higher preservation potential of opaque particles. Most of the oxidation is of subaerial, continental origin. However, in proximal high-energy shelf areas this trend may be reversed by in-situ (bio)oxidation at the seafloor, enhanced by the high porosity and permeability of coarse-grained sediments; and (3) the size and shape of plant debris (ED/BS ratio) are used to decipher proximal–distal and transgressive–regressive trends. Small, equidimensional (ED) woody fragments are characteristic of distal deposits, whereas in proximal settings, large blade-shaped (BS) particles are quite abundant. In addition, proximal assemblages reveal a greater variety of particle sizes. Additionally, the AOM-Phytoclast-Palynomorph ternary plot after Tyson (1989, 1993) is used to detect and interpret proximal–distal settings.

2. Results

All samples studied yield sedimentary organic particles, phytoclasts are the dominant group. The sedimentary organic matter of the Ricla sections 3, 6, and 7 shows in general a high degree of degradation of palynomorphs. The samples from the most proximal section (Ricla 3) are very poor in organic particles. However, the highest amount of (degraded) marine particles, corresponding to the highest amount of opaque, equidimensional phytoclasts, is detected in sample R3.5. Also in the sections Ricla 6 and Ricla 7, this signal is very prominent (samples R6.7 and R7.4).

Although organic particles are generally quite poorly preserved in the Ricla Barranco and Ricla 2 sections, the preservation of sedimentary organic matter differs related to the lithology. The samples from the carbonate intervals (samples RB67, RB68, RB72, RB73, RB78, RB79, RB81, RB83, RB86, RB89, RB90) show the most degraded particles. The degradation of organic particles from the samples of the siliciclastic intervals (samples RB4, RB7, RB11, RB16, RB17, RB20, RB22, RB26, RB28, RB29, RB31, RB34, R15, R20, R23, R28) is less strong. In the Ricla Barranco section maximum abundance of marine plankton is detected in sample RB89, in the Ricla 2 section maximum abundance of marine plankton occurs in sample R15.

3. Interpretation

Sedimentary organic matter of the Ricla sections 3, 6, and 7 documents a clear proximal-distal trend as interpreted from the AOM-Phytoclast-Palynomorph ternary plot (Fig. 1). The palynofacies data of the three sections plot along the phytoclasts–palynomorphs axis and display very well the change from proximal to more distal settings, i.e. from field I (highly proximal shelf or basin), to field III (proximal shelf) and to field V (distal shelf).

The general high degree of degradation is interpreted as primary signal, e.g. from storm deposits in a shallow marine setting. The most proximal samples (Ricla 3 section) are very poor in sedimentary organic matter - particles might be washed out from very shallow shoals, showing also a high amount of opaque phytoclasts. The highest amount of marine particles and opaque, equidimensional phytoclasts in sample R3.5 (Fig. 2) is interpreted to indicate a major flooding signal. Also in the more distal sections Ricla 6 and Ricla 7 this signal is very well visible (samples R6.7 and R7.4).

Palynofacies Analysis of the Ricla and Ricla Barranco Sections, Spain

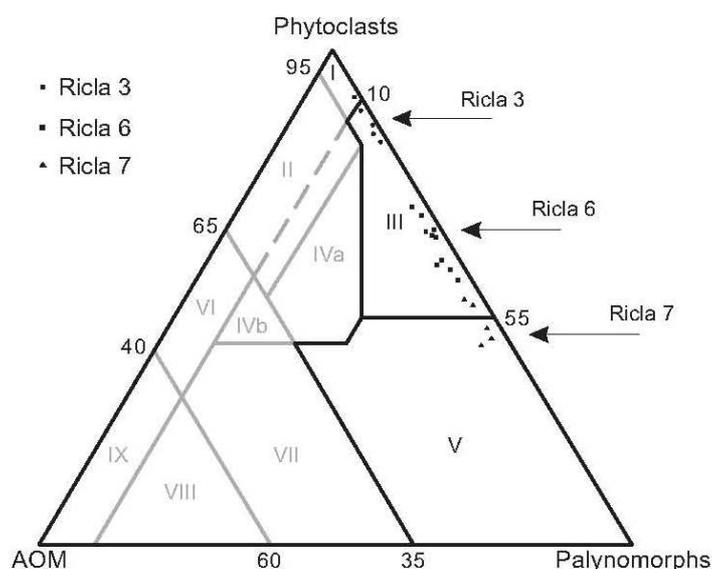


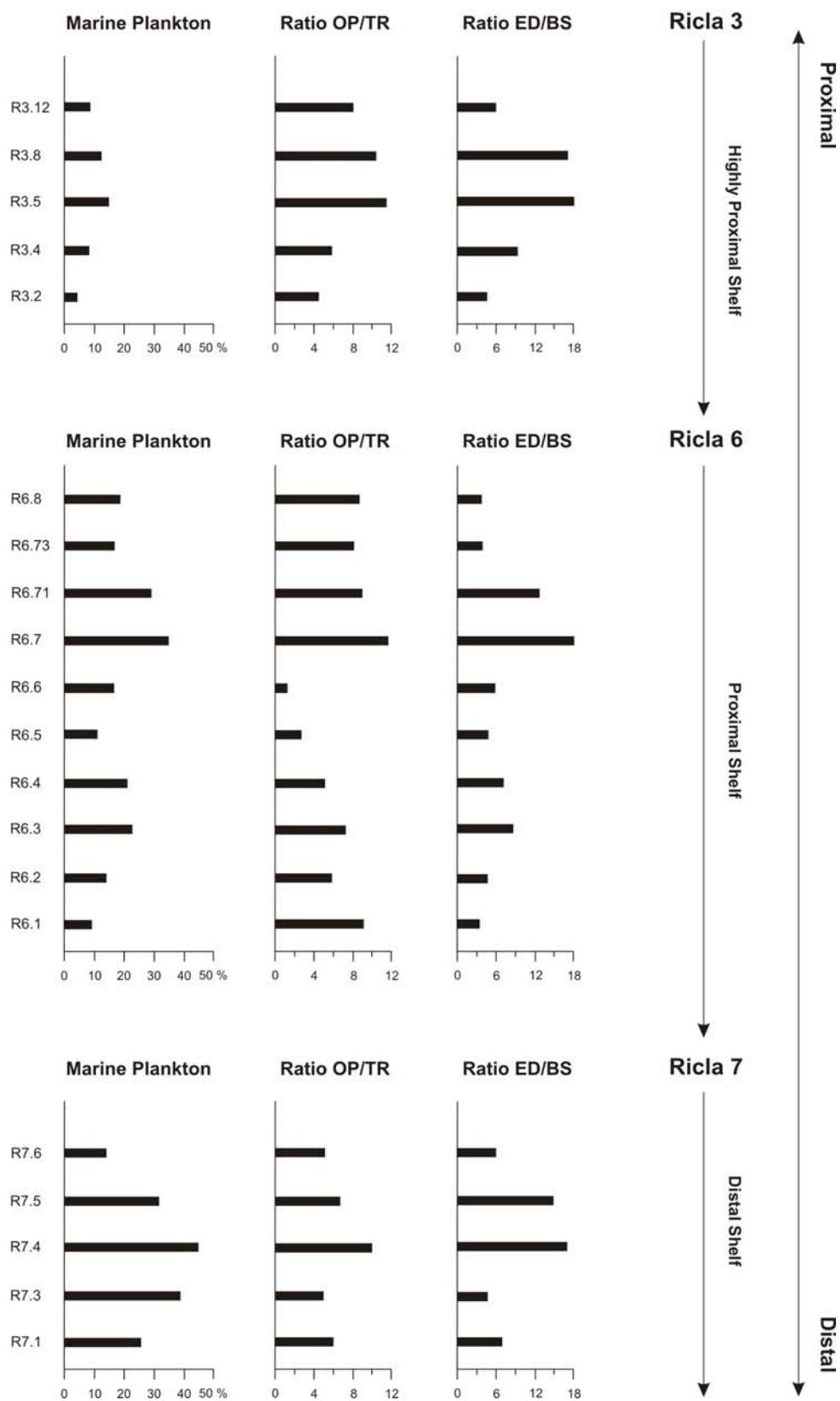
Fig. 1. Palynofacies data of the Ricla 3, 6, and 7 sections plot in the field I, III, and V of the AOM-Phytoclast-Palynomorph ternary diagram, displaying deposits of the highly proximal shelf (I), the proximal (III) and the distal (V) shelf.

The highly degraded sedimentary organic matter of the carbonate samples of the Ricla Barranco section might point to a higher hydro-energy. Less degraded organic material of the siliciclastic part might indicate a quieter depositional environment and/or the different preservation results from a higher sedimentation rate. The degradation signatures are seen as primary signal from the depositional environment; it is a "mechanical" signature, no chemical (diagenetic) degradation. On the one hand, marine flooding signals and transgressive-regressive trends are difficult to interpret due to the general poor preservation of sedimentary organic particles. On the other hand, the superposition of eustatic signatures of small-, medium, and large-scale sequences is also displayed in the palynofacies and thus different preservation makes unequivocal interpretation of transgressive-regressive trends even more difficult. Maximum abundance of marine plankton in sample RB89 and in sample R15 might indicate maximum flooding phases. However, from the yet available data interpretation is vague.

Fig. 2. (next page) Palynofacies parameters displaying transgressive-regressive trends: (1) the proportion of marine plankton, (2) the ratio of opaque to translucent phytoclasts (OP/TR ratio) and (3) the size and shape of plant debris (ED/BS ratio). Samples from the Ricla sections 3, 6, and 7 indicate maximum flooding phases in R3.5, R6.7 and R7.4. Note the different percentages of marine plankton with a maximum of 15% in the most proximal part and 35% and 45% in the more distal parts of the ramp setting. Opaque, equidimensional phytoclasts are most abundant within the intervals of maximum abundances of marine plankton, indicating maximum flooding phases.

Palynofacies Analysis of the Ricla and Ricla Barranco Sections, Spain

Palynofacies Ricla Sections



SEDIMENTOLOGIE, STRATIGRAPHIE SEQUENTIELLE ET CYCLOSTRATIGRAPHIE DE RICLA BARRANCO

(Claude Colombié, Fabienne Giraud et Johann Schnyder)

1. Matériel et méthode

La coupe de Ricla barranco a été levée banc par banc en septembre 2008 par Fabienne Giraud, Johann Schnyder et Claude Colombié. Les épaisseurs ont été mesurées et les faciès sédimentaires (lithologie, structures sédimentaires, contenu minéralogique, bioclastique et non bioclastique) analysés. 55 échantillons et lame minces représentatifs des différents faciès observés ont été étudiés par Claude Colombié au microscope optique polarisant pour confirmer et compléter les observations faites sur le terrain. L'abondance relative des grains, la taille des grains de quartz (maximale et moyenne, la différence permettant d'estimer le tri), le pourcentage du quartz et de la muscovite (présents en grande quantité par rapport aux autres grains et dont l'abondance relative varie peu) ont été déterminés.

L'évolution dans le temps des différents résultats obtenus, d'abord à l'échelle de la coupe puis à plus haute résolution, permet de définir des séquences de long et de moyen ou de court terme, qui traduisent plusieurs ordres de variation du niveau marin relatif superposés. Une séquence de dépôt est limitée à la base et au sommet par des limites de séquence (SB) qui correspondent à la chute la plus rapide du niveau marin. Ces séquences contiennent deux autres surfaces remarquables qui sont les surfaces de transgression (TS) et d'inondation maximale (MFS). La surface de transgression correspond au maximum de régression. Elle est indiquée par un déplacement rapide de la ligne de rivage vers le continent qui se traduit par l'installation d'environnements plus ouverts. La surface d'inondation maximale correspond au maximum de transgression et aux environnements les plus ouverts. Ces surfaces remarquables définissent les dépôts de bas niveau, transgressif et de haut niveau. Le dépôt de bas niveau est situé entre la SB et la TS, le dépôt transgressif, entre le TS et la MFS, et le dépôt de haut niveau, entre la MFS et la SB suivante. Sur la base des zones d'ammonites établies par Delvene (2001), les séquences de long terme définies dans cette étude sont corrélées aux séquences de troisième ordre définies pour l'intervalle de temps étudié, et la durée des séquences de moyen ou de court terme, calculée, en divisant la durée de l'intervalle étudié par le nombre de séquences définies. Cette interprétation est ensuite comparée avec les résultats acquis plus bas par Strasser et al. (2005) et dans le cadre de cette étude par Johann Schnyder et Fabienne Giraud (analyse spectrale des variations du gamma ray), Myriam Boussaha et Fabienne Giraud (nannofossiles calcaires), Johann Schnyder et Litho B (minéraux argileux), Annette Götz (palynofaciès) et validée. Un cadre stratigraphique précis est établi qui permet de comparer cette coupe et les données acquises aux résultats obtenus pour le même intervalle de temps dans d'autres bassins ouest européens (notamment par Brigaud et al. (2008) dans le Bassin Parisien) et d'interpréter les changements observés en terme de variations paléoenvironnementales et paléoclimatiques.

2. Description de la coupe

La coupe de Ricla barranco mesure 103 mètres. Elle est formée d'alternances d'intervalles carbonatés et d'intervalles plus ou moins silicoclastiques d'une quinzaine de mètres d'épaisseur (Fig. 1). Ces intervalles sont eux mêmes composés d'alternances

de marnes et de calcaires, plus ou moins silicoclastiques en fonction de l'intervalle auquel elles appartiennent. Les 10 premiers mètres sont caractérisés par le passage d'alternances carbonatées à des alternances plus silicoclastiques (Fig. 1). Les bancs carbonatés sont nombreux, et les interbancs argileux, relativement fins. L'intervalle suivant, entre 10 et 35 mètres, contient de nombreuses lacunes d'affleurement, qui sont probablement dues à la diminution du nombre des bancs calcaires et à l'augmentation de l'épaisseur des interbancs argileux. L'augmentation de la fraction silicoclastique par rapport à la fraction carbonatée est confirmée par l'augmentation de la taille et du pourcentage des grains de quartz. L'intervalle compris entre 35 et 50 mètres contient davantage de bancs calcaires et des interbancs argileux plus fins. Par contre, la taille des grains de quartz et les pourcentages de quartz et de muscovite sont particulièrement forts, indiquant que cet intervalle reste riche en silicoclastiques. Entre 50 et 65 mètres, le passage d'alternances silicoclastiques à la base à des alternances carbonatées au sommet (cf. la colonne Lithology de la figure 1) et la diminution de la taille des grains de quartz et des pourcentages de quartz et de muscovite indiquent une diminution de la fraction silicoclastique par rapport à la fraction carbonatée. L'intervalle suivant, entre 65 et 90 mètres environ, est comparable à la base de la coupe, carbonaté et composé de nombreux bancs calcaires et d'interbancs argileux fins. L'augmentation de la taille des grains de quartz et des pourcentages de quartz et de muscovite montre que les 10 derniers mètres de coupe sont de nouveau beaucoup plus silicoclastiques.

3. Interprétation sédimentologique

A l'Oxfordien supérieur et au Kimméridgien, la région étudiée se trouvait en bordure d'un massif émergé d'où provenaient les silicoclastiques (argiles, quartz et muscovite). Elle était alimentée par des deltas dont le fonctionnement était plus ou moins actif en fonction des événements tectoniques et climatiques qui affectaient la région. Les carbonates se formaient plus loin sur la plate-forme, dans les environnements marins francs. Par ailleurs, les grains de quartz ne présentent pas le même comportement hydrodynamique que les grains de muscovite. La présence en grande quantité de gros grains de quartz indique des environnements plus proches des terres émergées que celle des grains de muscovite qui ont une forme qui leur permet de flotter et de se déposer dans des environnements plus distaux. Par conséquent, les intervalles carbonatés représentent des environnements plus distaux par rapport aux intervalles plus silicoclastiques. A l'intérieur de ces intervalles plus silicoclastiques, une grande quantité de gros grains de quartz indique des environnements plus proximaux que ceux contenant un pourcentage élevé de muscovite.

4. Interprétation séquentielle et cyclostratigraphique

Compte tenu de l'interprétation précédente, l'évolution de la fraction silicoclastique par rapport à la fraction carbonatée traduit l'évolution des environnements de dépôt, qui dépend des variations du niveau marin relatif, et peut être interprétée en séquences de dépôt. A l'échelle de la coupe, les intervalles les plus silicoclastiques (entre 10 et 35 mètres puis au-dessus de l'intervalle étudié) correspondent probablement aux dépôts de bas niveau dont la base coïncide avec une limite de séquence, et le sommet, avec une surface de transgression (Fig. 1). Les intervalles les plus carbonatés (entre 0 et 10 m puis entre 65 et 90 m environ) correspondent probablement aux dépôts de haut niveau dont la base coïncide avec une surface d'inondation maximale (Fig. 1). Cette séquence de

dépôt de long terme, définie à l'échelle de la coupe, permet de définir les caractéristiques sédimentaires des surfaces remarquables. Les plus visibles sont les TS, qui correspondent à une augmentation du pourcentage de quartz, et les MFS, qui sont indiquées par une augmentation du pourcentage de muscovite. Les SB correspondent probablement aux interbanco argileux les plus épais, qui coïncident parfois avec des lacunes d'affleurement. Sur la base de ces caractéristiques, 7 (voire plus étant donnée la grande abondance de lacunes d'affleurement) séquences de moyen ou de court terme sont définies à l'intérieur de la séquence de long terme définie à l'échelle de la coupe. Ces séquences mesurent une dizaine de mètres en moyenne. L'abondance relative des grains comme la taille et le tri des grains de quartz sont des résultats difficiles à utiliser pour l'interprétation séquentielle.

L'intervalle étudié correspond à la zone d'ammonites à Planula de l'Oxfordien supérieur (Fig. 1). La base de cette zone est située 9 mètres sous la première limite de séquence de long terme définie à l'échelle de la coupe, le sommet, 2 à 3 m sous la deuxième limite de séquence de long terme. Sur la base de la zone à Planula, la limite inférieure de cette séquence correspondrait à la limite de séquence de 3^{ème} ordre Ox 8, la limite supérieure, à la limite de séquence Kim 1. Cet intervalle dure entre 650 ka (Hardenbol et al. 1998) et 900 ka (Gradstein et al. 2004). Par conséquent, la durée des séquences de court ou de moyen terme serait de l'ordre de 100 ka.

5. Discussion

Strasser et al. (2005) ont également travaillé à proximité de Ricla et étudié l'intervalle situé juste en dessous et dont le sommet correspond au banc 104 situé à la base de la série présentée dans ce rapport (Fig. 1). Ils définissent des séquences de dépôts dont les limites sont situées à la base des intervalles les plus argileux (ou les plus silicoclastiques) et les surfaces d'inondation maximale à la base des dépôts carbonatés. Ces séquences auraient une durée de 100 ka. Elles sont par conséquent comparables par leurs caractéristiques sédimentaires et par leur durée aux séquences de dépôts de moyen ou de court terme présentées dans ce rapport. Fabienne Giraud a réalisé l'analyse spectrale des variations du gamma ray mesurées par Johann Schnyder. Elle a défini un pic à 10 mètres qu'elle interprète comme le premier cycle de l'excentricité dont la durée est 100 ka. Ce résultat, qui est présenté en détail dans le rapport intermédiaire précédent, est cohérent avec l'épaisseur et la durée des séquences de moyen ou de court terme déterminées dans ce travail. Par ailleurs, Myriam Boussaha et Fabienne Giraud ont analysé les nannofossiles calcaires. Elles distinguent deux intervalles. Un premier intervalle entre 0 et 15 mètres où les assemblages floristiques indiquent des conditions paléoenvironnementales mésotrophiques (ou des environnements moyennement riches en nutriments) dont le développement est compatible avec l'interprétation de cet intervalle comme un dépôt de bas niveau de long terme. Le deuxième intervalle, située entre 55 et 60 mètres environ, correspondrait à des conditions environnementales oligotrophiques (ou des environnements pauvres en nutriments) dont le développement est compatible avec l'interprétation de cet intervalle comme la partie supérieure d'un dépôt transgressif et inférieure d'un dépôt de haut niveau. Enfin, l'analyse des palynofaciès réalisée par Annette Götz montre que l'intervalle compris entre 55 et 70 mètres environ est particulièrement riche en particules organiques dégradées qui indiquent un hydrodynamisme fort. Ce résultat est cohérent avec l'interprétation de cet intervalle comme la partie supérieure d'un dépôt transgressif. Par ailleurs, l'échantillon RB 89, situé aux environs de 70 mètres, présente l'abondance de plancton marin la plus

forte, qui indique le maximum d'ouverture du système. Ce résultat confirme l'interprétation de ce niveau comme une surface d'inondation maximale de long terme. Brigaud et al. (2008) ont analysé la composition isotopique de l'oxygène de coquilles d'huîtres de l'Oxfordien du Bassin de Paris et calculé la température de l'eau de mer. Ils mettent en évidence un réchauffement qui aurait débuté 750 ky avant la limite entre les zones à *Planula* et à *Platynota*. Enfin, l'analyse des minéraux argileux réalisée par Johann Schnyder et Litho B et interprétée par Johann Schnyder indique au même moment une diminution de la kaolinite et une augmentation de la smectite qui indiqueraient un changement de conditions plus humides à la base à des conditions plus arides dans la partie supérieure de l'intervalle étudié. Le passage de conditions mésotrophiques à oligotrophiques, révélé par l'analyse des nannofossiles, résulterait par conséquent de la combinaison d'une augmentation du niveau marin relatif de long terme, de la température et de l'aridité.

References

- Brigaud, B., Pucéat, E., Pellenard, P., Vincent, B., Joachimsky, M. M., 2008. Climatic fluctuations and seasonality during the Late Jurassic (Oxfordian–Early Kimmeridgian) inferred from $\delta^{18}O$ of Paris Basin oyster shells. *Earth and Planetary Science Letters* 273 (1-2), 58–67.
- Delvene, G., 2001. Los bivalvos del Jurásico medio y superior de la Cordillera Ibérica (España): sistematica y paleoecologia. PhD Thesis, UNiversity of Zaragoza, 199 pp.
- Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Smith, A. G., 2004. *Geologic Time Scale 2004*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.
- Hardenbol, J., Thierry, J., Farley, M. B., Jacquin, T., De Graciansky, P.-C., Vail, P. R., 1998. Jurassic chronostratigraphy. In : De Graciansky, P.-C., Hardenbol, J., Jacquin, T., Vail, P. R. (Eds.), *Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European basins*. Vol. 60. SEPM special publications, pp. 445–479.
- Strasser, A., Aurell, M., Bádenas, B., Meléndez, G., Tomás, S., 2005. From platform to basin to swell: orbital control on sedimentary sequences in the Oxfordian, Spain. *Terra Nova* 17, 407-413.

The anatomy of high-frequency cycles recorded in a sloped mid-carbonate ramp setting: the interplay between carbonate production, detrital input, and storm resedimentation (Kimmeridgian, NE Spain)

C. Colombié ¹, B. Bádenas ², M. Aurell ² & A.E. Götz ³

1: Laboratoire de Géologie de Lyon, Université Claude Bernard et Ecole Normale Supérieure, CNRS, La Doua, bâtiment Géode, 69622 Villeurbanne cedex, France (claude.colombie@univ-lyon1.fr)

2: Dpto. Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 50009-Zaragoza, Spain (bbadenas@unizar.es, maurell@unizar.es)

3: Darmstadt University of Technology, Institute of Applied Geosciences, Geothermal Science and Technology, Schnittspahnstr. 9, D-64287 Darmstadt, Germany (goetz@geo.tu-darmstadt.de)

Carbonate ramps are open and dynamic systems where many factors control sedimentation. The analysis of the Late Kimmeridgian storm-dominated ramp developed in the northern Iberian basin reveals that the strategic area to understand processes and factors controlling sedimentation is the mid ramp setting. This area, affected by factors acting in the proximal as well as in the distal part of the ramp, allows the description of the anatomy of high-frequency cycles and the interplay between carbonate production, detrital input, and storm resedimentation. This work is based on cm-scale field observations of 8-selected 5 m-thick logs across a continuous (5 km-long) outcrop located north of the Ricla village (NE Spain) and the detailed analysis of 88 thin sections in 4 of them. Lateral tracing of some key beds (walking and analysis of photomosaics) and palynofacies analyses corroborate the correlation of these logs. The lower datum for correlation is the third-order sequence boundary formed after a regional flooding event.

The reconstructed 5 km down-dip transect shows the facies transition from shallow coral-microbial reefs to lime mudstones and marls including tempestites. The identification of different types of sedimentary breaks associated to sharp facies changes and burrowed bedding planes at field and microscopic scale allows the definition of 5 high-frequency cycles (0.5–2 m thick), which correlate from the proximal to the distal areas. They constitute a high-resolution stratigraphic framework for analysing the vertical and lateral trend of different types (sandy, ooids-, muscovite- or peloids-dominated) and number of tempestites. This trend reflects the changes in relative sea level previously defined. However, within the host sediments, the correlation shows that the content and size of carbonate and terrigenous components such as ooids, quartz, muscovite, and sedimentary organic particles (palynomorphs, phytoclasts) defined for each high-frequency cycle greatly vary from one section to the other, reflecting different responses between the proximal and distal parts. For example, the first cycle includes two progradational sedimentary bodies in the proximal area, whereas two retrogradational bodies are formed in the distal part. High carbonate production probably outpaced increasing relative sea level leading to progradation in proximal areas while sediment input was not sufficiently high to fill the space created in the distal part. Consequently, in an open and highly dynamic system like the Late Kimmeridgian carbonate ramp in the Iberian basin, the vertical trend of facies greatly changes from one area to another depending on the interplay between different factors.

Acknowledgements: The authors gratefully acknowledge the MAIF Foundation for its financial support.

The Kimmeridgian-Lower Tithonian Iberian carbonate ramps (Upper Jurassic, NE Spain): architecture, facies distribution and cyclostratigraphy

M. Aurell¹, B. Bádenas¹, L. Pomar², C. Colombié³, B. Caline⁴, J. Ipas¹, V. Martínez¹, G. San Miguel¹ and G. M. Al-Nazghah⁵

1 Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain;
Coordinators: maurell@unizar.es, bbadenas@unizar.es

2 Departament de Ciències de la Terra, Universitat de les Illes Balears, 07122 Palma de Mallorca, Spain; luis.pomar@uib.es

3 Université Lyon 1, Campus de la DOUA, Batiment Geode, 69622 Villeurbanne Cedex, France; claude.colombie@univ-lyon1.fr

4 Total Exploration Production CSTJF Avenue Larribau, 64018 PAU Cedex, France; bruno.caline@total.com

Introduction

Palaeogeographic setting

Upper Jurassic stratigraphy

The Kimmeridgian depositional sequences

The lower Tithonian depositional sequence

First day: The northern carbonate ramp transect

Stop 1.1. Mid-outer ramp marls and limestones (TST Kim1 Sequence, Ricla North)

Stop 1.2. Oolitic and siliciclastic dunes (HST Kim1 Sequence, Ricla North)

Stop 1.3. From coral-microbial reefs to well-bedded micrites (TST Kim2 Sequence, Ricla North)

Stop 1.4. Wave-induced deposits in mid-ramp settings (Kimmeridgian, Ricla village)

Stop 2.1. Outer ramp micritic successions (Kimmeridgian, Aguilón)

Stop 2.2. The lower Tithonian shallow carbonate ramp (Aguilón)

Second day: The southern carbonate ramp transect

Stop 3.1. High-frequency sequences in shallow ramp areas (Kim2 Sequence, Jabaloyas)

Stop 3.2. Coral-microbial pinnacle reefs and associated facies (Kim2 Sequence, Jabaloyas)

Stop 4.1. From well-bedded limestones to oolitic shoals (Kim1 Sequence, Moscardón)

Stop 4.2. Oolitic shoals and coral-microbial patch reefs (Kim1 Sequence, Frías de Albarracín)

Third day: Examples of lateral and vertical facies distribution

Stop 5: Facies heterogeneities in the Kimmeridgian carbonate ramp (Arroyo Cerezo)

Stop 6: Facies heterogeneities in the lower Tithonian carbonate ramp (Mezalocha)

Installation et disparition d'un récif à coraux sclérectiniaires et à microbialites (Oxfordien, Maroc)

**OLIVIER Nicolas (1), MARTIN-GARIN Bertrand (2), COLOMBIE Claude (1),
CORNEE Jean-Jacques (3), GIRAUD Fabienne (1), SCHNYDER Johann (4),
KABBACHI Belkacem (5), EZAIDI Karim (5)**

(1) UMR 5125 PEPS, CNRS, France; Université de Lyon, Université Lyon 1, Campus de la DOUA, Bâtiment Géode, 69622 Villeurbanne Cedex, France

(2) EA 4234 GSRC, Université de Provence, 3, Place Victor Hugo (case 67), 13331 Marseille cedex 03, France

(3) UMR 5243 Géosciences Montpellier, CC 060 – Université Montpellier 2, Place Eugène Bataillon, 34095 Montpellier cedex 05, France

(4) Université Pierre et Marie Curie–Paris 6, case 117, 4, place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France

(5) Université Ibn Zohr, Faculté des Sciences, Département de Géologie, Agadir, Maroc

Au Jurassique supérieur, les marges nord-téthysiennes présentent de nombreux récifs coralliens aujourd'hui relativement bien documentés (Leinfelder *et al.*, 2002). Il n'existe par contre que de rares études détaillées sur les récifs de les marges africaines (Ourribane *et al.*, 2000 ; Martin-Garin *et al.*, 2007). La connaissance des écosystèmes récifaux du Jurassique supérieur aux basses latitudes (environ 15° de paléolatitudes nord) demeure encore très incomplète. Les terrains jurassiques de la partie occidentale du Haut-Atlas marocain s'avèrent particulièrement intéressants pour étudier les récifs situés sur la marge est du jeune Océan Atlantique (Adams *et al.*, 1980).

Ce travail présente une analyse détaillée de récifs initialement signalés par Ambroggi (1963) et Ourribane (2000) dans la région d'Izwarn au Nord-Est d'Agadir. Deux niveaux récifaux de respectivement 12 et 15 mètres d'épaisseur, latéralement continus sur une échelle plurikilométrique ont pu être mis en évidence.

Le premier niveau récifal présente une phase d'installation particulièrement bien préservée comprenant, de bas en haut : (i) des petits bioclastes roulés (échinodermes, brachiopodes, bivalves) ; (ii) un assemblage corallien peu diversifié (5 genres) composé essentiellement de petites colonies lamellaires isolées du genre *Dimorpharaea* ; (iii) un assemblage corallien génériquement plus riche (11 genres dont *Dimorpharaea*, *Enallhelia* et *Stylosmilia*), avec des coraux fortement encroûtés par des microbialites. Cette succession des communautés sclérectiniaires traduit une installation des faunes au cours d'une diminution de la tranche d'eau (*cf.* Lathuilière *et al.*, 2005).

L'assemblage corallien récifal apparaît le plus diversifié (17 genres) dans le second niveau récifal avec des encroûtements microbialitiques plus réduits. Les genres *Stylosmilia*, *Dimorpharaea*, *Thecosmilia*, *Actinaraea* et *Calamophyllopsis* dominent l'assemblage et sont représentés par des colonies de grandes tailles.

Enfin, la fin du développement récifal est marquée par d'importants faciès de démantèlement.

Adams, A.E., Ager, D.V. et Harding, A.G. (1980) - Géologie de la région d'Imouzzer des Idaou-Tanane (Haut Atlas occidental), Notes Mem. Serv. geol. Maroc 285, 59–80.

Ambroggi, R. (1963) – Etude géologique du versant méridional du haut Atlas occidental et de la plaine du Souss, Notes Mem. Serv. geol. Maroc 157, 5–109.

Lathuilière, B., Gaillard, C., Habrant, N., Bodeur, Y., Boullier, A., Enay, R., Hanzo, M., Marchand, D., Thierry, J. et Werner, W. (2005) - Coral zonation of an Oxfordian reef tract in the northern French Jura. *Facies* 50, 545–559.

Leinfelder, R.R., Schmid, D.U., Nose, M. et Werner, W. (2002) - Jurassic reef patterns – The expression of a changing globe, *SEPM Spec. Publ.* 72, 465–520.

- Martin-Garin, B., Lathuilière, B., Geister, J., Chellai E. H. et Huault, V. (2007) - Geology, facies model and coral associations of the Late Jurassic reef complex at Cape Ghir (Atlantic High Atlas, Morocco) C. R. Geosciences, 339, 1, 65-74.
- Ourribane, M., Chellai, E.H. et Zaghib-Turki, D. (2000) - Rôle des microbialites et des « micro-encroûtants » dans la lithification récifale : exemples du Jurassique supérieur de l'Atlas maghrébin (Maroc et Tunisie), C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. Ila 330, 407-414.
- Ourribane, M. (2000) – Récifs et faciès associés du Jurassique supérieur de l'Atlas maghrébin (Atlas atlantique, dorsale tunisienne) : sédimentologie, paléoécologie et paléoenvironnement, PhD thesis, université Cadi-Ayyad, Marrakech, Morocco.

Ecological succession evidence in an Upper Jurassic coral reef system (Izwarn section, High Atlas, Morocco)

Nicolas Olivier^{a,b*}, Bertrand Martin-Garin^c, Claude Colombié^{a,b}, Jean-Jacques Cornée^d,
Fabienne Giraud^e, Johann Schnyder^f

^aUniversité de Lyon, Lyon, France.

^bCNRS, UMR 5276 Laboratoire de géologie de Lyon, Université Lyon 1, Villeurbanne, France.

^cUniversité de Provence, EA 4234 Géologie des Systèmes et des Réservoirs Carbonatés, Marseille, France.

^dGéosciences Montpellier, UMR 5243 - CC60, Université Montpellier 2, Place E. Bataillon, 34095 Montpellier cedex 5, France.

^eInstitut des Sciences de la Terre, UMR 5275, BP 53, 38041 Grenoble CEDEX 9, France.

^fUPMC Univ. Paris 06, CNRS, UMR 7193 iSTeP, case 117, 4, pl. Jussieu, 75252 Paris Cedex 05, France.

* Corresponding author, Nicolas.Olivier@univ-lyon1.fr

Abstract

The High Atlas of Morocco records Upper Jurassic coral reefs in low latitudes along the eastern margin of the young Atlantic Ocean. The lithological succession observed along the Izwarn section shows two coral-microbialite reef units that are intercalated between pelagic deposits and tidal flat sediments. A catch up growth mode of reefs is assumed to have caused the general shallowing-upward sequence observed along the section. Changes in reefal components – observed at the base of the reef unit 1 – are interpreted to represent a reefal ecological succession with stabilization, colonization and diversification stages. Low coral covers and low to moderately diversified coral assemblages – where abundant thin platy *Dimorpharaea* are observed – characterize this reef succession. A specific depth window – i.e., where light was sufficient for a catch up growth mode and below the erosive action of waves – in a deep fore-reef area has made possible the development and the record of such reefal ecological succession. First appearance of microbialites occurred in the diversification stage where they played an important role in the edification of the reef framework. The presence of microbialites also reflects periods of eutrophication, implying rapid turnovers between the two main reef components (corals and microbialites). The coral assemblage does not seem affected by these high-frequency coral-microbialite shifts. A second diversification stage is observed in the upper part of the reef unit 2. The relatively well-diversified reef assemblage indicates a shallower fore-reef area. Overlaying the reef unit 2, back-reef reworked elements of shallow and light-dependent encrusting organisms (*Lithocodium*,

Bacinella, and *Cayeuxia*) indirectly suggest a non-recorded reef-crest area where a domination stage could be reached.