

Associations micro-faunistiques de la plate-forme échinodermique bajocienne du Jura et de Bourgogne:

Implications paléoenvironnementales

André PIUZ¹

Ms. reçu le 7 mai 2008, accepté le 26 mai 2008

Abstract

Microfaunistic associations of the Bajocian echinodermic shelf in the Jura Mountains and Burgundy: Paleoenviromental implications. – *The Bajocian bioclastic echinodermic shelf is examined through 17 sections mainly located in the southern Jura Mountains and in Burgundy (S-E France). The origin of the diverse facies encountered on this shelf is debated since long time. Up to now, crinoidal facies were considered as lateral to all other Bajocian deposits, especially the coral buildups. A micropaleontological study (Piuz 2004) allows now a new interpretation of the depositional context. Statistics on the micropaleontological data divided the main fossils in 3 associations (AF1 to AF3). Analysis of microfaunal distribution allows for the first time the analysis of the Bajocian shelf in terms of primary productivity. Integration of the micropaleontological data, with stratigraphic, sequential, sedimentological and geometrical data suggests then that if accommodation space was largely responsible of the sedimentary structures (coral buildup morphology, organisation of the bioclastic deposits), water quality (mainly trophic state, oxygenation, temperature, turbidity, water chemistry) is one of the main factor controlling the biosedimentary evolution. Accordingly, the construction of this shelf was mainly driven through two main alternating sedimentation poles. 1) One pole favourable to the growth of corals, ooids and the fauna of AF1 (sponge spicules, monocristalline foraminifers and pelagos). They are referred to clear warm oligo- to mesotrophic waters along with a probable rather warm and arid climate. 2) One pole dominated by crinoids and the other fauna of AF3 (bioclastic association with crinoids, bivalves, bryozoans, brachiopods, lenticulines) with very rare or no corals. This points to colder meso- to eutrophic and possibly turbid waters along with a presumably temperate and more humid climate and possible upwellings. The AF2 association «porcelanous foraminifers, peloids and TVT (Textulariidae, Verneuilinidae and Trochamminidae)» is more characteristic of marl-limestone alternations, which are interpreted as deeper sediments.*

Keywords: Bajocian, Jura, Burgundy, France, Micropaleontology, Crinoids, Coral, Eutrophication

Résumé

La plate-forme bioclastique échinodermique bajocienne est explorée par le biais de 17 coupes de terrain situées principalement dans le Jura méridional et en Bourgogne. L'origine des faciès rencontrés sur cette plate forme complexe, est depuis longtemps discutée. Jusque là, les faciès à entroques étaient mis en équivalence latérale avec tous les autres faciès bajociens, en particulier les bioconstructions coralliennes. L'étude micropaléontologique de ces différents faciès (Piuz 2004) permet aujourd'hui de nouvelles interprétations sur la mise en place de ces dépôts. Une étude statistique des données micropaléontologiques regroupe les principaux taxons en 3 associations (AF1 à AF3). Leur répartition permet d'analyser pour la première fois la plate-forme bajocienne sous un angle prenant en compte la productivité primaire. L'intégration des données micropaléontologiques aux données stratigraphiques, séquentielles, sédimentologiques et géométriques, permet de proposer que si l'espace d'accommodation est largement responsable de l'arrangement des dépôts (morphologie des construc-

¹ Muséum d'histoire naturelle, Route de Malagnou, 1, Case postale 6434, CH-1211 Genève 6, tél. +41 22 418 63 65, fax. + 41 22 418 63 01, andre.piuz@ville-ge.ch

tions à polypiers et organisation sédimentaires des niveaux bioclastiques par exemple), la nature des eaux (essentiellement trophisme, oxygénation, température, turbidité, chimisme) serait parmi les principaux contrôleurs de l'évolution biosédimentaire. La sédimentation aurait alors évolué entre deux principaux pôles paléocologiques. Schématiquement, nous reconnaissons: 1) un pôle favorable au développement des coraux, oolithes et faunes de l'association AF1 (spicules d'éponge, foraminifères monocristallins et pelagos). Il serait caractéristique d'eaux relativement chaudes, claires, oligo- à mésotrophiques sous un climat plutôt chaud et aride. 2) un pôle favorable au développement des crinoïdes et faunes de l'association AF3 (association bioclastique avec notamment crinoïdes, fragments coquillers, bryozoaires, gastéropodes, lenticules) mais très appauvris voir dépourvu de polypiers. Il refléterait des eaux plus fraîches, méso – eutrophiques, peut-être turbides, sous un climat possiblement plus tempéré et humide, avec de probables upwellings. L'association AF2 «association à foraminifères porcelanés, péloïdes et TVT (*Textulariidae*, *Verneulinidae* et *Trochamminidae*)» caractérise plutôt les environnements plus profonds (alternances marno-calcaires).

Mots clefs: Bajocien, Jura, Bourgogne, France, Micropaléontologie, Crinoïdes, Coraux, Eutrophisation.

1. Introduction

Malgré de nombreuses apparitions au cours du Mésozoïque, les plates-formes échinodermiques sont encore peu documentées sur le plan micropaléontologique. Caractérisées par des dépôts néritiques où prédominent les débris de crinoïdes, ces plates-formes sont sans équivalents dans les milieux néritiques actuels et posent par conséquent de réels problèmes d'interprétation paléoenvironnementale (Ameziane Cominardi 1991; Bourseau et al. 1988; David 1998; Morestin 1986; Roux 1982; Roux et al. 1988). Dans le domaine téthysien et péri-téthysien ces plates-formes échinodermiques se sont développées sur des étendues parfois très vastes, par exemple au Trias moyen (Ciarapica et Passeri 1978; Gignoux 1936; Merki 1961), au Toarcien (Améziane-Cominardi 1991; Donzeau et al. 1997; Meyer 1996; Mouterde in Debrand-Passard et al. 1984; Jenkins 1985), à l'Aaléno-Bajocien (Durllet et al. 2001; Piuz 2004; Rousselle 1997; Thiry Bastien 2002), au Callovo-Oxfordien (Bitterli 1979; David 1998; David et Roux 2000; Floquet et al. 1989; Laville et al. 1989; Mangold 1970), au Valanginien (Hennig Fisher 2003) ou à l'Hauterivien (Arnaud-Vanneau et Masse 1989; Charollais et al. 1989; Middlemiss 1989).

L'un des exemples les plus emblématiques de ces plates-formes s'est développé au cours du Bajocien inférieur, sur l'étendue de la plate-forme jurassienne et bourguignonne, au nord de la marge liguro-téthysienne. Sur cette plate-forme située à la limite des domaines boréal et téthysien (Cariou et al. 1985), il est fréquent de rencontrer des volumineux dépôts de calcaires à entroques (calcarénites constituées à plus de 50% par des débris de crinoïdes). Ils sont déposés dans des environnements variés d'*offshore* supérieur, de *shoreface*, *foreshore*, ou de plate-forme tidale isolée de la houle par un complexe de barres de déferlement; c'est-à-dire dans des environnements toujours situés au dessus de la limite d'action des vagues de tempêtes (Thiry-Bastien 2002). Au cours de l'Aalénien, et surtout du Bajocien, ces calcaires à entroques ont alterné avec d'autres types de dépôts par

exemple coralliens, oolithiques, oncolithiques ou marneux. Sur une même verticale, l'origine de ces alternances de faciès a depuis longtemps été discutée (Coulon 1979; Daulin 1969; Durllet 2001a; Durllet et Thierry 2000; Durllet et al. 2001; Ferry et Mangold 1995; Roux 1978; Thiry-Bastien 2002) et attribuée à divers facteurs avec deux hypothèses:

- (1) Selon l'hypothèse «synchrone», les faciès à entroques seraient en équivalence latérale avec tous les autres faciès d'*offshore* supérieur, de *shoreface*, *foreshore* ou de plate-forme tidale, en particulier avec les biosconstructions coralliennes qui caractérisent tout autant la plate-forme du Bajocien inférieur (Lathuillière 1982; Morestin 1986; Rat et Amiot 1979).

Dans ce cas, l'occurrence de calcaires à entroques n'aurait pas de réelle signification stratigraphique. Elle pourrait n'être due qu'à une topographie sous-marine contrastée et vigoureuse (Durllet et al. 2001), avec des fonds proches de l'émersion jouxtant des aires plus profondes, pouvant atteindre plusieurs dizaines de mètres de profondeur. Selon Roux (Roux 1982; Roux et al. 1988) ces aires situées à l'abri de l'agitation des vagues de beau temps, seraient les seules favorables au développement des genres *Pentacrinus*, *Extracrinus*, *Isocrinus* et plus rarement *Balanocrinus* qui forment l'essentiel de la communauté de crinoïdes pédonculés du Bajocien de cette région péri-téthysienne (Lathuillière 1982; Meyer 1988, 1989; Morestin 1986; Rat et Daulin 1970).

- (2) Selon l'hypothèse «diachrone», les principales accumulations d'entroques seraient représentatives de périodes remarquables, caractérisées par une microfaune qui leur est propre, et durant lesquelles les accumulations coralliennes (et leur cortège micropaléontologique) font vraisemblablement défaut (Piuz 2004, 2007).

Ces périodes seraient la conséquence de changements environnementaux corrélables à l'échelle de la plate-forme bourguignonne et jurassienne. Ces chan-

gements environnementaux pourraient être liés à un forçage eustatique, climatique et/ou tectonique. Des variations de la bathymétrie, la courantologie, la température, l'oxygénation, la salinité et/ou des ressources trophiques auraient alors pu créer des périodes, soit favorables, soit défavorables au pullulement des crinoïdes, respectivement des coraux.

Afin d'apporter des éléments nouveaux à ce débat sur les relations stratigraphiques et environnementales entre les faciès à crinoïdes et les faciès à polypiers de la plate-forme bajocienne, l'étude micropaléontologique détaillée de 17 coupes réparties entre le haut fond bourguignon, le Jura méridional et le Bassin subalpin a été entreprise. Cette étude micropaléontologique, menée de façon exhaustive sur plus de 600 lames minces (Piuz 2004, 2006), constitue une première pour les dépôts non marneux de la plate-forme bajocienne. En inventoriant et en quantifiant de manière statistique non seulement les microfaunes et microflores, mais aussi tous les autres allochèmes bioclastiques et non bioclastiques, cette étude vise aussi à rechercher des liens éventuels entre le contenu micropaléontologique, les macrofaciès et les architectures sédimentaires. Dans un contexte de plate-forme carbonatée où l'agitation liée aux vagues de beau temps et aux tempêtes fut parfois conséquente (Durllet 1996; Durllet et al. 2001; Ferry et Mangold 1995; Thiry-Bastien 2002), ces éventuels liens statistiques sont susceptibles d'apporter des informations sur le remaniement des allochems et donc sur le caractère synchrone ou diachrone des principales associations de faciès.

2. Contexte géologique

2.1. Contexte structural et paléogéographique

La série sédimentaire mésozoïque du Jura et de Bourgogne repose en discordance sur le craton NW européen formé de roches plutoniques et métamorphiques déformées puis pénéplainées durant la phase hercynienne et tardi-hercynienne. Quelques synclinaux et grabens permo-carbonifères montrent des remplissages principalement continentaux. La transgression marine du Trias engendre une sédimentation gréseuse, argileuse, évaporitique et dolomitique qui est suivie au Lias par une sédimentation alternativement marneuse et carbonatée. La fin du Lias est marquée au Toarcien par l'enneiement de la plate-forme domérienne, par la mise en place d'une épaisse série marneuse en milieu anoxique puis dysoxique, puis par la régression du Toarcien supérieur qui se traduit soit par des condensations, soit par des érosions sous-marines. Le début du Dogger est souvent marqué par des lacunes biostratigraphiques importantes pouvant in-

clure la totalité de l'Aalénien et du Bajocien basal (Coulon 1979; Elmi 1984; Jacquin et al. 1985; Morestin 1986). Ces lacunes sont surtout développées à l'aplomb de l'actuel Seuil de Bourgogne qui correspondait à l'époque à un haut-fond (Durllet et al. 1997, 2001; Thiry-Bastien 2002). Situé en position proximale par rapport à l'actuel arc jurassien, il représentait la partie proximale de la marge passive du bassin liguro-téthysien (Dardeau et Gracianski 1990; Dercourt et al. 1993, 2000; Lemoine et al. 1986; Ziegler 1988). Une chute eustatique, bien documentée à l'échelle téthysienne (Gracianski et al. 1998) et une phase d'extension selon un axe NW-SE, documentée par des failles synsédimentaires normales ou décrochantes (Durllet et al. 1997; Jacquin et al. 1998; Lemoine et al. 1989), sont indubitablement à l'origine de ces lacunes et de la fin de la sédimentation marneuse qui prévalait au Toarcien (Robin et al. 1996).

La plate-forme carbonatée qui se développe à l'Aalénien et au Bajocien inférieur prend donc place dans une vaste mer épicontinentale d'un type inexistant aujourd'hui. Elle comporte des faciès carbonatés (et marneux) très diversifiés qui s'accumulent sur des épaisseurs allant d'une dizaine de mètres dans les parties les moins subsidentes du haut-fond bourguignon jusqu'à environ 100 à 150 mètres dans certaines régions du Jura interne (Neumeier 1998) et d'avantage dans le bassin subalpin (Barfety 1985; Pairis 1975; Piuz 2004; Rosset 1956). En raison de l'éloignement des massifs émergés (Ardenne et Massif Central *pro parte*), le détritisme terrigène grossier est quasi absent.

2.2. Pôles macro-faciologiques

Sur la plate-forme bajocienne du Jura et de Bourgogne, la panoplie des faciès est large. Sous une paléo-latitude d'environ 25° Nord, proposée par diverses synthèses paléogéographiques (Dercourt et al. 1993, 2000), la bioproduction carbonatée est diversifiée et parfois complétée par une production oolitique et micritique. Dans le cadre spatial et temporel de cette étude, qui va de la Bourgogne au bassin Subalpin (Fig. 1), 11 principaux pôles macro-faciologiques déposés en environnements de plate-forme tidale protégée, de *foreshore*, *shoreface*, et *d'offshore* sont reconnus sur le terrain: (1) des calcarénites à entroques; (2) des bioconstructions (biohermes et biostromes) et des faciès de démantèlement à polypiers hermatypiques; (3) des calcarénites à bioclastes diversifiés (lamellibranches, gastéropodes, échinodermes, brachiopodes, bryozoaires, etc.); (4) des faciès à oncoïdes de nubéculaires; (5) des faciès fins (marneux, calcaires, parfois alternants) à sili-cisponges et accidents siliceux; (6) des calcarénites dominées par des débris de bryozoaires; (7) des épan-

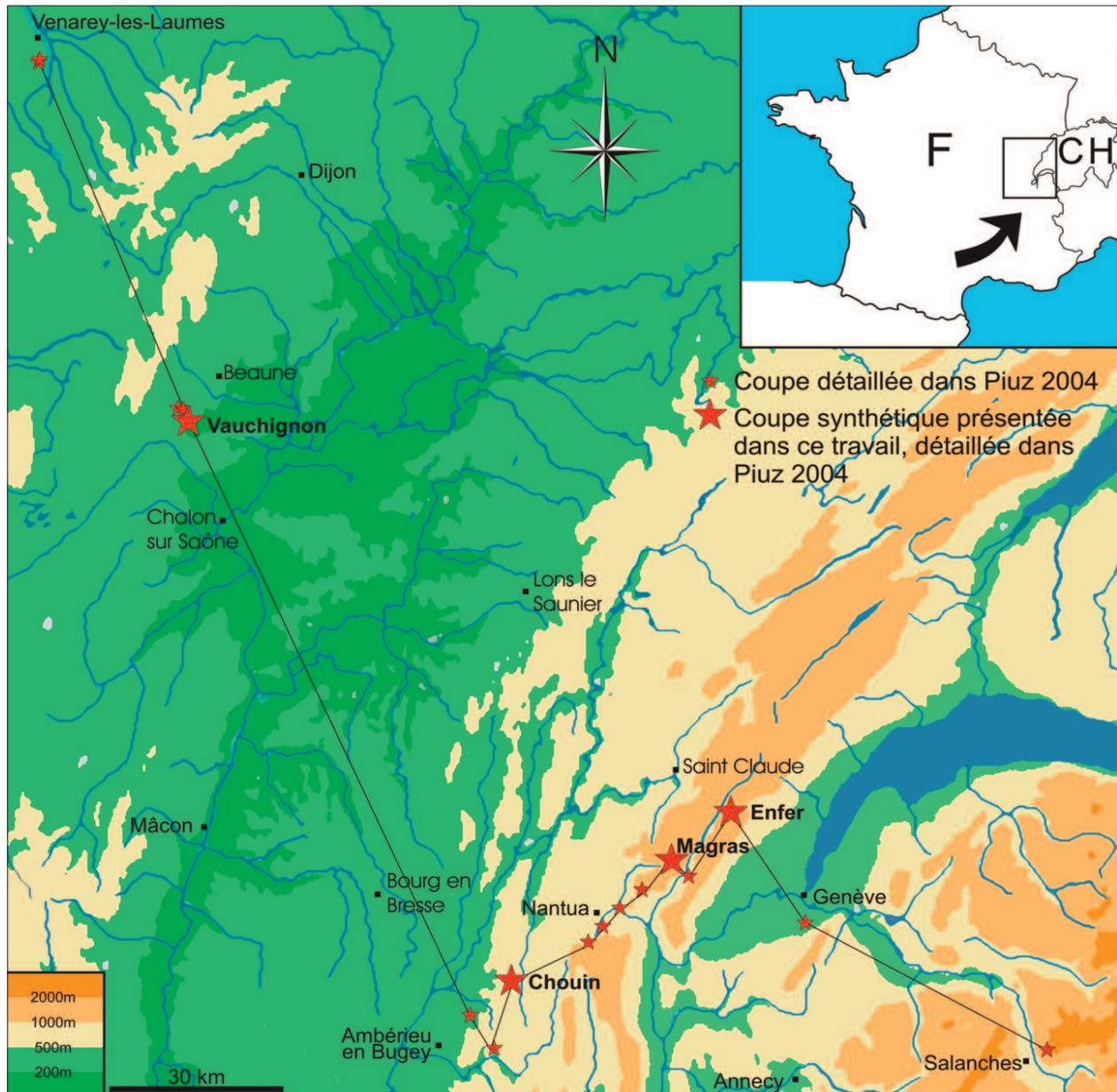


Fig. 1. Terrain d'étude: 5 coupes en Bourgogne, 10 coupes dans le Jura méridional, 1 forage dans le bassin de Genève, 1 coupe dans le bassin Subalpin. Seules 4 séries synthétiques sont présentées ici.

Fig. 1. Study area: 5 sections in Burgundy, 10 sections in the southern Jura Mountains, 1 drill hole in the Geneva basin and 1 section in the Subalpine basin. Only 4 synthetic sections are illustrated in this paper.

dages marneux attribuables au remaniement des marnes toarciennes sous jacentes; (8) des packstone/wackestones à ooides ferrugineuses et céphalopodes, (9) des dépôts oolitiques et oobioclastiques, ainsi que (10 et 11) des dépôts micritiques attribués à des lagon ou à des environnements externes en fonction de leur faune et de leurs structures sédimentaires (voir Piuz 2004 p. 90). Les 11 faciès cités ne sont pas toujours «purs». Ils constituent ce qu'il convient d'appeler des pôles faciologiques. Leur mélange est fréquent, ce qui indique soit une contemporanéité de leurs milieux de genèse, soit des remaniements d'allochèmes (bio) produits à des époques différentes. Le

lien entre ces pôles faciologiques et le contenu micro-paléontologique (Clerc 2005; Piuz 2004 cum bilio) a jusqu'à présent été peu documenté pour le Bajocien. Il est l'objet central de cette étude.

2.3. Contexte lithostratigraphique et biostratigraphique

La diversité des pôles faciologiques présents dans le Bajocien inférieur du Jura et de Bourgogne, ainsi que des régions voisines a généré, depuis le début du XX^e siècle, l'élaboration d'une lithostratigraphie complexe, avec de nombreuses dénominations ayant va-

leur soit de membre soit de formation (Fig. 2, Burkhalter 1995, 1996; Contini 1970; Debrand-Passard et al. 1984; Durllet et Thierry 2000; Ferry et Mangold 1995; Gonzalez 1996; Gonzalez et Wetzel 1996; Mangold 1984; Mangold et al. 1994; Piuz 2004; Thierry et al. 1980; Thiry-Bastien 2002). Dans la partie méridionale de la chaîne jurassienne les principales accumulations d'entroques forment deux épais membres calcarénitiques (Ferry et Mangold 1995; Lathuilière 1981; Mangold 1984; Piuz 2004; Thiry-Bastien 2002) appelés *Calcaires à Entroques Inférieurs* (CEI) et *Calcaires à Entroques Moyens* (CEM) *sensu* Ferry et Mangold (1995). Les datations biostratigraphiques, basées principalement sur les ammonites, indiquent que les CEI sont attribuables aux zones à Discites et/ou à Laeviuscula et que les CEM s'inscrivent principalement dans la zone à Propinquans et au début de la zone à Humphriesianum (Ferry et Mangold 1995). En Bourgogne, la principale accumulation crinoïdique correspond au membre des *Calcaires à Entroques sensu stricto* qui est daté de la zone Propinquans ou du début de la zone à Humphriesianum (Durllet et Thierry 2000). Toutefois, dans les secteurs bourguignons où la série du Bajocien inférieur est la plus épaisse, il est fréquent d'observer des accumulations crinoïdiques plus anciennes, datées des zones à Discites et Laeviuscula (Durllet 1996). D'un point de vue strictement biostratigraphique les accumulations crinoïdiques bourguignonnes et jurassiennes sont donc potentiellement corrélables. Les principaux épisodes à polypiers du Jura méridional, *premier niveau à polypiers* (P1) et *second niveau à polypiers* (P2) *sensu* Ferry et Mangold (1995) sont datés respectivement de la zone à Propinquans, sous-zone à Patella (par encadrement) et zone à Humphriesianum (Contini 1970; Mangold 1984). En Bourgogne, les quatre principaux niveaux à coraux (P1 à P4 *sensu* Durllet et Thierry 2000) sont datés respectivement de la zone à Discites (P1, généralement très peu développé), zone à Propinquans (P2), zone à Humphriesianum (P3 et P4). D'un point de vue strictement biostratigraphique, les épisodes à polypiers sont donc eux aussi potentiellement corrélables.

Quel que soit le synchronisme ou le diachronisme de ces différents membres, les dépôts du Bajocien inférieur jurassien et bourguignon sont systématiquement coiffés par une discontinuité très nette, qui matérialise la limite avec le Bajocien supérieur. Appelée discontinuité vésulienne (Durllet et Thierry 2000), cette discontinuité coïncide avec un changement assez radical dans les environnements biosédimentaires. Au dessus, dans les dépôts du Bajocien supérieur et du Bathonien, les calcarénites constituées à plus de 50% par des débris de crinoïdes sont rares et les faciès à polypiers sont absents du Jura méridional et de Bourgogne. En Bourgogne, la partie supérieure

de l'étage débute par un long hiatus sédimentaire (incluant souvent la zone à Subfurcatum) à la suite duquel se déposent successivement des calcaires argileux, des marnes (à *Ostrea acuminata*), des calcaires micritiques, des calcaires à oncoïdes de nubéculaires et des calcaires oolithiques qui comprennent la limite Bajocien – Bathonien. Dans le Jura méridional, le Bajocien supérieur commence avec des calcaires (CPH) ou des marnes à petites huîtres (*O. acuminata*) suivis de faciès bioclastiques fréquemment oolithiques (COO). Les régions paléogéographiquement externes (Haute Chaîne du Jura) montrent quant à elles des faciès essentiellement constitués d'alternances marno-calcaires. Dans le domaine subalpin, les alternances marno-calcaires caractéristiques d'environnements circalittoraux se développent durant tout le Bajocien (Barfety 1985; Collet 1943; Pairs 1975; Piuz 2004; Rosset 1956). Dans le Jura suisse, s'intercalent au Bajocien supérieur (Fig. 2) de rares épisodes bioclastiques échinodermiques, des niveaux oolithiques ainsi que des épisodes à coraux (Gonzalez 1993, 1996; Gonzalez et Wetzel 1996; Meyer 1988, 1989).

Notons que la valeur très locale des membres pose souvent problème. Ils peuvent passer latéralement de l'un à l'autre sans qu'il ne soit possible de les délimiter et de les définir précisément. Sur cette plate-forme carbonatée ponctuée de paléoreliefs récifaux parfois marqués, particulièrement en Bourgogne (Durllet et al. 2001), les limites classiques de la lithostatigraphie sont souvent atteintes. Les marqueurs biostratigraphiques sont rares, et la durée de certains épisodes (p. ex. P1 ou CEM dans le Jura méridional) s'étend sur moins d'une sous-zone d'ammonite. L'interprétation séquentielle des cycles sédimentaires, l'évolution des associations faunistiques, ainsi que, quand elle est disponible, la géométrie des corps sédimentaires sont alors des moyens précieux permettant d'assurer les corrélations (Piuz 2004; Thiry-Bastien 2002).

3. Matériel et méthodes

Les principaux affleurements étudiés dans ce travail sont situés en Bourgogne ainsi que dans le Jura méridional. Un forage dans le bassin de Genève et une coupe levée dans le domaine Subalpin illustrent les domaines paléogéographiquement plus externes. Ces 17 coupes se répartissent globalement suivant un transect Nord-Ouest – Sud-Est (Fig. 1). Il permet de passer d'environnements d'une profondeur très faible, probablement moins d'une dizaine de mètres pour la partie sommitale de certains récifs du haut-fond bourguignon (Durllet 2001b; Durllet et Piana 2001; Durllet et al. 2001), jusqu'à des environnements où la bathymétrie est estimée entre 100 et 150 mètres

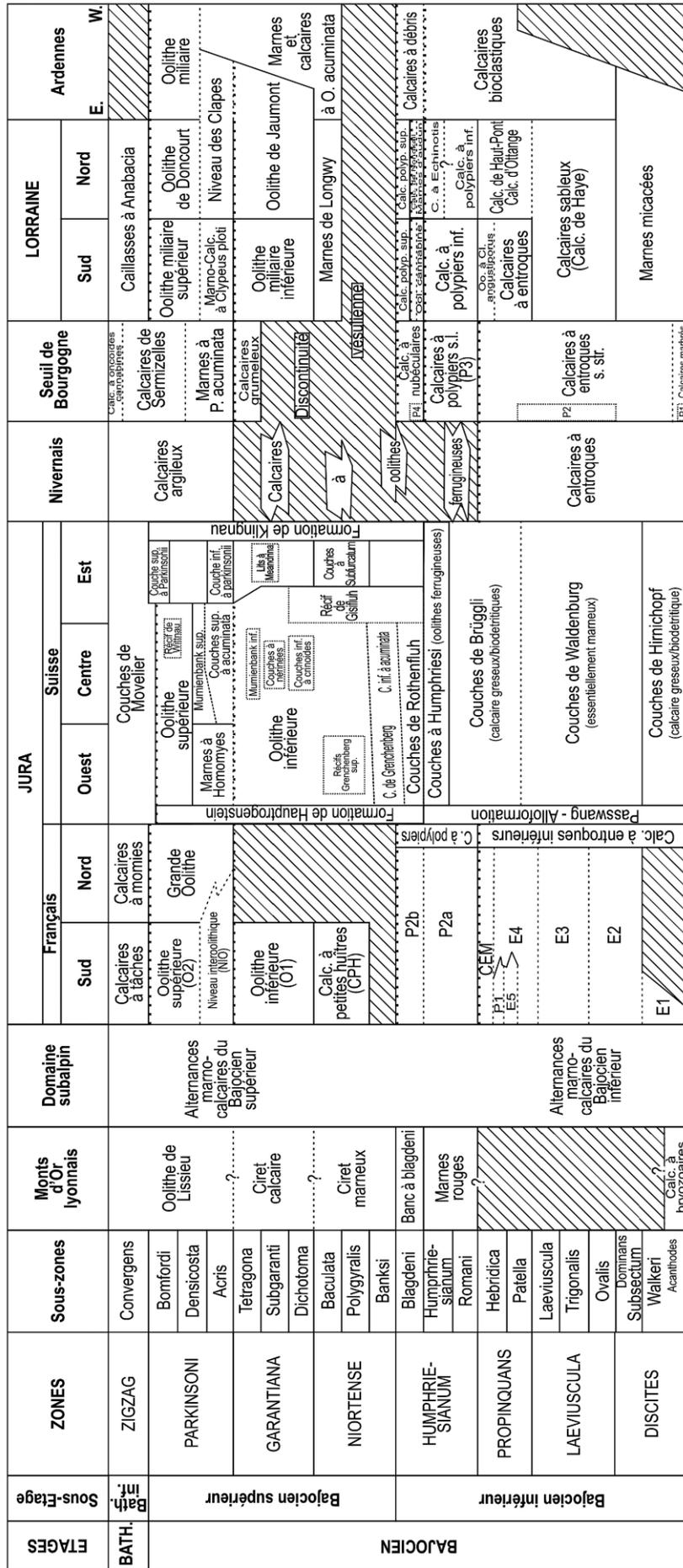


Fig. 2. Stratigraphie du Bajocien de l'est de la France et du Jura suisse d'après Burkhalter 1996; Contini 1970; Ferry et Thierry 2000; Ferry et Mangold 1995; Gonzalez 1996; Gonzalez et Wetzel 1996; Mangold 1984, 1994; Thierry et al. 1980; Thiry-Bastien 2002.

Fig. 2. Stratigraphy of the Bajocian of eastern France and the Swiss Jura after Burkhalter 1996; Contini 1970; Durllet et Thierry 2000; Ferry et Mangold 1995; Gonzalez 1996; Gonzalez et Wetzel 1996; Mangold 1984, 1994; Thierry et al. 1980; Thiry-Bastien 2002.

(Haute Chaîne jurassienne, Neumeier 1998), et certainement davantage dans le Bassin Subalpin (Piuz 2004). Le long de ce transect, les environnements sont contrastés, sans toutefois comporter des preuves irréfutables d'émersion.

Les faciès étudiés, calcaires, ont imposé un travail en section, les microfossiles dégagés des niveaux marneux étant connus des travaux de Wernli (1970a,b, 1971) et de Wernli et Görög (2007). Les composants d'environ 600 lames minces ont été détaillés, relevant, l'abondance semi quantitative (0, absent; 1, rare; 2, fréquent; 3, abondant) d'une quarantaine de taxons (Piuz 2004). L'étude des sections a clairement montré que certains fossiles apparaissent très régulièrement voir systématiquement ensemble, permettant de les regrouper en 3 principales associations. Différents tests statistiques nous ont ensuite permis de vérifier et de préciser ces regroupements.

Les données semi-quantitatives étant considérées comme qualitatives en statistiques, une analyse des correspondances multiples (AFCM) prenant en compte un nombre de dimensions cumulatives a été réalisée de manière à ce que les résultats expriment au moins 90% de l'information. Sur la base des coordonnées (quantitatives) des variables (taxons) dans 72 dimensions obtenues par l'AFCM, nous avons effectué une classification ascendante hiérarchique (CAH) qui a rassemblé nos variables en 3 classes. Afin de pallier aux artefacts de regroupement lié aux CAH, une analyse factorielle discriminante (AFD) a finalement permis de contrôler la qualité de ce premier regroupement, et en minimisant la variance, de replacer certains taxons dans l'association optimale. Rappelons encore que les taxons dont la fréquence (dans une abondance considérée) est très faible, moins de 30 selon la loi des grands nombres, n'auraient pas de sens statistique et ont donc été écartés.

■ 4. Résultats

4.1. Inventaire de la microfaune benthique

L'analyse détaillée des lames minces nous a permis de recenser et d'illustrer (Piuz 2004) une faune benthique abondante et variée, encore mal connue des faciès non marneux de ce type de plate-forme. Quelques auteurs ont travaillé au Bajocien sur les coquilles dégagées des niveaux lavables (Piuz 2004 p.45 cum biblio), d'autres ont étudié en sections les grands foraminifères complexes (Piuz 2004 p. 69 cum biblio) mais les autres groupes de microfossiles des calcaires bajociens imposant un travail en sections ont le plus souvent été délaissés. Un bilan des marqueurs biostratigraphiques du Dogger a été établi par

Mangold et al. (1997), mais au Bajocien, excepté de rares espèces comme *Callorbis minor* ou *Archaeosepta platierensis* (Wernli 1970b; Wernli et Gorog 2007; Wernli et Metzger 1990) les microfaunes ne montrent pas d'espèces à répartition stratigraphique restreinte.

Seuls les organismes les plus abondants des différents faciès du Bajocien ont été utilisés pour les tests statistiques. Ils sont détaillés et largement illustrés par Piuz (2004).

4.1.1. Les Foraminifères:

Généralement parlant, les foraminifères sont, au Jurassique, relativement bien connus pour ce qui concerne les «grandes» espèces agglutinées complexes (Lituolidae), et le «petit» benthos soit calcaire soit agglutiné dégagé des marnes (Nodosariacea, Epistominidae, spirillines, petits agglutinés, etc.). De manière très simplifiée, on peut dire que les premiers sont représentatifs des milieux carbonatés des plate-forme du type de celles que l'on connaît par exemple au «Kimméridgien - Tithonien» dans le Jura méridional (Bernier 1984; Meyer 2000, voir aussi Septfontaine 1981), alors que les seconds sont bien connus des milieux plus profonds et ouverts (par exemple Delance et Ruget 1989; Wernli et Septfontaine 1971). Il reste pourtant un groupe très abondant de petites espèces que l'on trouve dans les calcaires et qui, le plus souvent non déterminables spécifiquement en section, sont encore mal étudiés et peu utilisés en stratigraphie ainsi qu'en paléocéologie. C'est en grande partie ceux que nous avons rencontrés ici. Nous avons regroupés ci-dessous les taxons les plus fréquents en fonction de la nature de leur paroi. Rappelons en préambule l'absence totale de foraminifères complexes ainsi que d'algues dasycladales (Piuz 2004) dans la région qui fait l'objet de cette étude.

■ (1) Foraminifères à paroi hyaline:

Les foraminifères à paroi calcaire hyaline sont présents de manière assez constante dans les différentes coupes mais la plupart de ces taxons sont globalement moins abondants dans les calcaires à entroques ss.

Spirillina Ehrenberg. Ce foraminifère à loge tubulaire planispiralée et calciteuse hyaline monocristalline (Planche 1, fig. 8) a surtout été rencontré dans les faciès micritiques fins. Il peut se montrer exceptionnellement abondant dans certains niveaux où l'on en rencontre plusieurs dizaines par lames.

Nous avons regroupé sous *Tethysiella* des tests au deutérolocus tubulaire trochospiralé à paroi hyaline monocristalline (Blau 1987a,b; Blau et Haas 1991). La majeure partie des *Tethysiella* observées montrent une trochospire basse. De rares exem-

plaires correspondent à *Tethysiella pilleri* Blau (Planche 1, fig. 1). Les *Tethysiella* sont généralement peu abondantes. On les observe le plus souvent dans les boues des niveaux à polypiers.

Paalzowella Cushman est un foraminifère trochospiralé et multiloculin (4-5 loges par tour) à paroi hyaline monocristalline (Planche 1, fig. 2). On reconnaît *P. feifeli* Paalzow et *P. feifeli* aff. *elevata* Paalzow. Ces derniers, excessivement rares, sont souvent difficiles à distinguer en lame mince de *Tethysiella pilleri*. D'autres exemplaires sont carénés. La très grande majorité des *Paalzowella* sont présentes dans les boues à madréporaires ou dans des faciès fins. Elles sont peu fréquentes et caractéristiques des environnements calmes et boueux.

Tentilenticulina latens Hitchings est un foraminifère benthique cryptique (Planche 1, fig. 4). Il est particulièrement fréquent dans les cavités abritées de coraux ou d'éponges, surtout dans les coupes présentant des biohermes.

Bullopore Quenstedt est représenté essentiellement par *Bullopore tuberculata* (Sollas), ornée de grosses épines à microtexture particulière. La forme du test est souvent dépendante du substrat. On les rencontre dans les biohermes à coraux, particulièrement en Bourgogne.

Nous avons regroupé sous Nodosariidae toutes les petites coquilles à paroi calcaire hyaline radiaire, unisériées ou planidéroulées, non déterminables spécifiquement en section, en excluant les Lenticulines. Quelques rares *Frondicularia* sp. ont pu être distinguées. Les Nodosariidae (Planche 1, fig. 22) sont omniprésents dans nos coupes. Peu caractéristiques d'un environnement particulier, ils sont souvent abondants dans les faciès fins alternants marno-calcaires, parfois dans les faciès grossiers à entroques.

Non déterminable spécifiquement en section, nous avons regroupé sous «Lenticulines» toutes les coquilles planispiralées à paroi calcaire hyaline radiaire (Planche 1, fig. 21). Ces tests robustes et solides de 200 µm à plus de 1mm sont souvent observés dans des faciès à haute énergie, mais sont aussi parfois abondants dans les alternances marno-calcaires des coupes distales. Ils sont rares dans les niveaux à polypiers.

■ (2) Foraminifères à paroi porcelanée

Les foraminifères à paroi porcelanée du Dogger du Jura méridional ont fait l'objet d'une étude détaillée par Clerc (2005). On y trouve toutes les précisions et références concernant ces microfossiles omniprésents dans nos coupes, et qui montrent une abondance toute particulière dès le Bajocien supérieur.

Les nubéculaires fixés en pelotons (Planche 1, fig. 20) sont attribués en majeure partie à *Nubecularia reicheli* Rat (1966). Les encroûtements épais constitués de plusieurs couches (dont le stade ultime est l'oncoïde à nubéculaires, Rat 1966, qui peut atteindre plusieurs millimètres) sont très remarquables en Bourgogne mais sont beaucoup plus rares dans le Jura méridional.

Généralement décrites dans le Jurassique sous le nom de *Palaeomiliolina* (Loup 1993; Metzger 1988; Pazdrowa 1972), les tests porcelanés à enroulement quinqueloculin à sigmoïdal (Planche 1, fig. 10) appartiennent au genre *Labalina* Azbel. Clerc (2005) reconnaît 9 espèces au Bajocien. Les *Labalina* sont très abondantes dans les alternances marno-calcaires du Bajocien supérieur (où elles dominent souvent largement les *Ophthalmidium*), ainsi que ponctuellement au Bajocien inférieur (*L. occulta*). Elles sont souvent très difficiles à déterminer en section.

Ophthalmidium Kübler et Zwingli est planispiralé à deux loges par tour (Planche 1, fig. 9). Omniprésent dans nos lames, leur plus grande abondance est observée (comme pour *Labalina*) dans les coupes du Jura méridional oriental (ou Haute Chaîne), ainsi qu'en de rares points dans d'autres coupes. Au sein de ce genre détaillé par Clerc (2005), qui distingue 7 espèces, nous pouvons noter que la majorité des individus sont à rattacher à *O. terquemi*. *Ophthalmidium* est relativement rare durant le Bajocien, comparé à l'Aalénien où il est très abondant.

Cornuspira Schultze est constituée d'un proloculus suivi d'une loge tubulaire planispiralée (Planche 1, fig. 12). Généralement très peu abondantes, elles sont plus présentes dans les coupes du Jura méridional oriental et du bassin de Genève, plus rares dans des zones où les polypiers développent des constructions importantes.

■ (3) Foraminifères à paroi agglutinée

Les foraminifères agglutinants sont d'une manière générale systématiquement peu abondants, excepté dans le Bajocien supérieur de certaines coupes de la Haute Chaîne et du Bassin de Genève. Rarement observés à la base du Bajocien, ils disparaissent ensuite pour ne réapparaître que dans la partie supérieure de l'étage.

Nous avons regroupé sous «TVT» les Trochaminidae, Verneulinidae et Textulariidae, à paroi finement agglutinée qui présentent des sections (bisériées, trisériées ou trochospiralées basses) difficilement identifiables au niveau générique. Ces microfossiles sont généralement rares, excepté dans les coupes de la Haute Chaîne et du bassin de Genève.

Dans certains cas ce n'est qu'à l'approche de la limite Bajocien - Bathonien qu'ils deviennent particulièrement fréquents.

Callorbis minor Wernli et Metzger (1990) est un petit foraminifère pluriloculin à trochospire basse et épaissement ombilical (Planche 1, fig. 15). Il a été décrit dans le Bajocien supérieur de la région de Champfromier (Haute Chaîne) et son extension stratigraphique semble être restreinte de la zone à Humphriesianum jusqu'à la zone à Subfurcatum (Hardenbol et al. 1998). Sa présence pourrait être liée aux caractéristiques du faciès plutôt qu'à un âge précis, du moins pour sa limite supérieure.

■ (4) *Foraminifères à paroi microgranulaires foncée (micro-agglutinée?)*

Dans les parois de ces foraminifères, les grains sont trop petits pour dire s'ils sont exogènes, donc agglutinés, ou secrétés par l'animal. Les individus à test microgranulaire foncé sont rares dans nos coupes, à l'exception de *Planinvoluta* présente à la base du Bajocien.

Planinvoluta carinata Leischner est caractéristique du faciès gréso-micacé à *Cancellophycus* de l'Aalénien. Bien décrits par Wernli (1970a, 1971), ils sont rares dans le Bajocien inférieur, et leur présence ou leur abondance semble être liée à la présence de quartz dans le sédiment.

4.1.2. Les crinoïdes:

Les fragments de crinoïdes, bien qu'omniprésents dans nos dépôts, n'ont pas été déterminés. Les espèces reconnues au Bajocien sont: En Bourgogne, *Extracrinus babeaui* De Loriol, *Pentacrinus bajociensis* D'Orbigny et *Pentacrinus crista-galli* Quenstedt (Rat et Daulin 1970; Morestin 1986); à Crémieux, *Isocrinus*, *Pentacrinus* et plus rarement *Balanocrinus* (Lathuilière 1982); et dans le Jura suisse, *Chariocrinus andreae* Desor (Meyer 1988, 1989). Quelques columnales en connexion sont illustrées sur la planche 1, fig. 16. Si des articles de tiges (columnales) et de bras (brachiales) sont abondants, nous n'avons jamais pu reconnaître de pièces de calice ou d'organes d'ancrage (holdfast). Aucune prairie à crinoïdes fossilisée *in situ* n'est connue dans le Jura méridional ou en Bourgogne où nous ne connaissons que des accumulations de leurs débris, contrairement au Bajocien du Jura septentrional (Meyer 1988, 1989).

4.1.2. Les coraux:

Les coraux n'ont pas été déterminés spécifiquement. Ces derniers sont largement étudiés par Lathuilière (Lathuilière 1981, 1982, 1984, 1988, 1990, 1996a,b, 1999, 2000a,b; Lathuilière et Gill 1998) qui reconnaît 15 à 18 genres et 16 à 25 espèces dans le Bajocien in-

férieur de France. Notons seulement que le genre *Isastrea* (*I. bernardiana*) constitue le constructeur le plus abondant des calcaires à polypiers bajociens (plus de 75% des colonies) avec à ses côtés, la présence fréquente de colonies lamellaires des genres *Thamnasteria* et *Periseris* (Lathuilière 1988, 1990, 2000b). Des formes branchues (dont *Dandraraea*) ont été observées plus rarement. Des fragments recristallisés informes et indéterminables comprennent dans certains cas, une majorité de fragments de coraux à côté de débris de gastéropodes ou bivalves aragonitiques.

4.1.3. Les éponges:

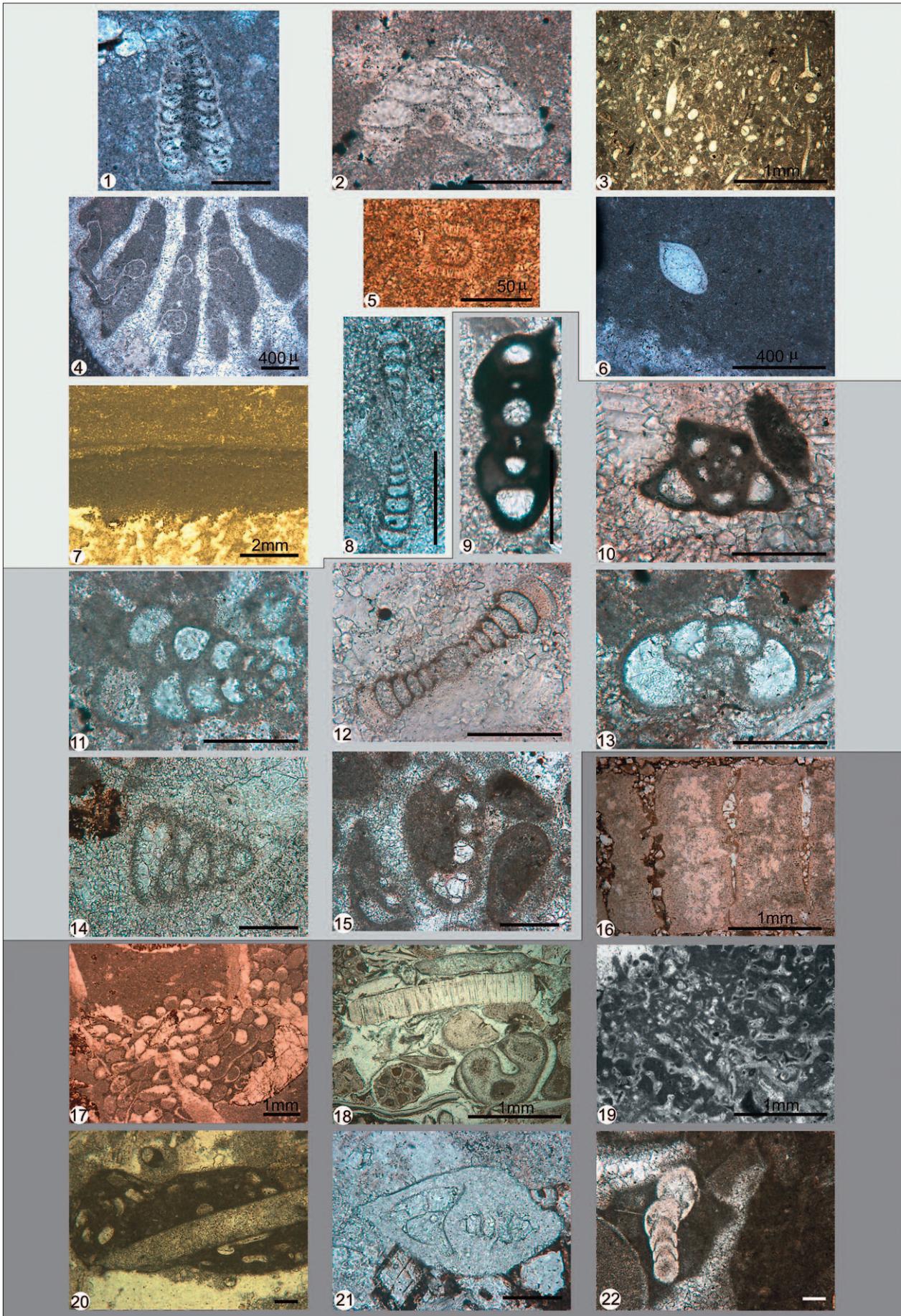
Les spicules d'éponges siliceuses, omniprésents dans les faciès fins, sont le composant biosiliceux principal des carbonates étudiés. Chez les démosponges, nous avons reconnu de très nombreux géodidés, particulièrement abondants dans la matrice des polypiers du Jura et de Bourgogne, ainsi que dans les faciès boueux des coupes plus distales. Certaines roches sont de véritables spongolites denses (Planche 1, fig. 3). Nous avons distingué les sections circulaires (section de spicule monaxone ou triaxone), des exemplaires réniformes et ceux qui, plus rarement, montraient des sections triaxones.

Chez les calcisponges, nous avons reconnu des débris d'éponges pharétrones, (Planche 1, fig. 19) dans les micrites des niveaux à polypiers, ainsi que fréquemment remaniées dans des faciès de haute énergie.

Cladocoropsis mirabilis Felix: Ces formes rameuses fragiles, placées par Termier et al. (1985) dans les sclérosponges, ont été observées dans des biohermes de Bourgogne et du Jura méridional. Pas ou peu connues au Bajocien jusqu'alors, on les trouve souvent remaniés dans des dépôts de haute énergie.

4.1.4. Les solénopores

Les solénopores sont de manière générale peu étudiés dans le Jurassique inférieur et moyen, et les exemplaires bourguignons sont le plus souvent attribués à *Solenopora jurassica*. Nous déterminons nos individus les mieux conservés (Piuz, 2004) comme *Solenopora* aff. *jurassica* Brown, mais remarquons également une autre espèce attribuée à *Pseudochaetetes* cf. *champagnensis* Peterhans. Il semble donc que deux espèces au moins soient présentes au Bajocien. Les solénopores sont fréquemment observés dans nos coupes bourguignonnes sur les replats situés au sommet des pentes bioconstruites où ils peuvent former des dômes centimétriques. Des fragments de ces organismes sont plus rarement observés dans le Jura méridional où leur mauvaise conservation n'a pas permis une détermination spécifique.



4.1.5. Bivalves

En section tous les débris de test non déterminés ont été regroupés sous «fragments coquilliers». Les espèces bajociennes présentes sont inventoriées par Lathuilière (1981, 1982) et Dumanois (1982) avec pour les plus abondants, *Lithophaga*, *Chlamys*, *Plagiostoma*, *Ctenostreon*, *Pholadomya*, *Lopha*, et *Liostraea*. Les fragments de test «prismatiques» sont attribués à *Stegoconcha* mais leur fréquence ne semble pas montrer de répartition particulière

Les «filaments», sections de coquilles minces (protoconques de lamellibranches) sont présents essentiellement dans les faciès micritiques et totalement absents des niveaux à haute énergie. Fréquemment associés aux ostracodes et spicules d'éponges, ils sont caractéristiques des faciès micritiques à polypiers. S'ils peuvent être fréquents, il faut néanmoins noter qu'il n'existe pas dans le Jura et la Bourgogne de véritables «Calcaires à filaments» comme en trouve dans le domaine de la Téthys (par exemple Conti et Monari 1992; Farinacci et Elmi 1981; Martire 1989).

4.1.6. Ostracodes

Fréquents dans nos lames, les ostracodes peuvent être localement très abondants dans certaines constructions récifales bourguignonnes comme aux

Sources de la Marne, située près de la ville de Langres (C. Durllet communication personnelle). Indéterminables en section, aucune espèce n'a été reconnue.

4.1.7. Brachiopodes

Les espèces bajociennes sont décrites par Lathuilière (1981, 1982) et Alméras et Lathuilière (1984). Les formes les plus fréquentes sont *Moorellina*, *Monsardithyris*, *Cymatorhynchia*. En sections, nous avons regroupé sous «fragments coquilliers» tous les débris de coquilles qui n'étaient pas «filaments» ou *Stegoconcha*. Des exemplaires de *Ferrythyris ferryi* typique de la lumachelle communément appelée «à *Terebratula ferryi*», marqueur sur le terrain de la limite du Bajocien Bathonien ont été reconnus en quelques points de la Haute Chaîne (Loup 1993; Metzger 1988; Piuze 2004).

4.1.8. Gastéropodes

Les gastéropodes observés en sections sont principalement des microgastéropodes. On les retrouve dans tous les faciès. Ils peuvent être localement très abondants dans les calcaires bioclastiques échinodermiques. Lathuilière (1981, 1982) détermine les genres de quelques macrogastéropodes, ainsi que leur fréquence dans les différentes formations. La paroi aragonitique, toujours remplacée par un ciment

Planche 1. Exemples de microfaunes et microfaciès (abondantes illustrations dans Piuze 2004).

Echelle, si non spécifié, 1 barre = 100 microns. Taxons rattachés à l'association **AF1** (voir explications dans le texte); **1**: *Tethysiella pilleri* section axiale, P1; **2**: *Paalzwella feifeli* section axiale, CPH; **3**: Spongolite à spicules de géodidés monaxones, triaxes, et réniformes, P2; **4**: *Tentilenticulina latens* section horizontale, P1; **5**: *Colomisphaera* sp. section transverse, P2; **6**: Ostracode à paroi hyaline épaisse, section transverse oblique, P1; **7**: Microbialite stromatolithique sur corail, P2 zone bioconstruite; **8**: *Spirillina* sp. section axiale, alternances supérieures. Taxons rattachés à l'association **AF2** (voir explications dans le texte); **9**: *Ophthalmidium terquemi* section axiale, alternances supérieures; **10**: *Labalina costata* section transverse, alternances supérieures; **11**: *Textularia* sp. section longitudinale, alternances supérieures; **12**: *Cornuspira* sp. section axiale, P1; **13**: *Trochammina* sp. section axiale décentrée, alternances supérieures; **14**: *Verneuillinoïdes* sp. section longitudinale, P4 zone bioconstruite; **15**: *Callorbis minor* section axiale, alternances supérieures. Taxons rattachés à l'association **AF3** (voir explications dans le texte); **16**: Columnales de crinoïdes en connexion, section transverse, calcaires à entroques inférieurs; **17**: *Serpules*, section transverse et sédiments géotropes, P2; **18**: Grainstone bioclastique à bryozoaires, gastéropodes, fragments échinodermiques, *Stegoconcha* et autres bivalves, Calcaires à entroques moyens; **19**: Calcisponge (pharétrone) P2; **20**: *Nubecularia reicheli* section verticale, calcaires à nubéculaires; **21**: *Lenticulina* sp. section axiale, démantèlement de P3; **22**: *Nodosaria* sp. section longitudinale, P4 zone bioconstruite.

Plate 1. Examples of microfaunas and microfacies.

When not specified, scale bar = 100 microns. **AF1** association; **1**: *Tethysiella pilleri* axial section, P1; **2**: *Paalzwella feifeli* axial section, CPH; **3**: Spongolite made of geodid spicules, P2; **4**: *Tentilenticulina latens* horizontal section, P1; **5**: *Colomisphaera* sp. transverse section, P2; **6**: Ostracoda with thick hyaline wall, oblique transverse section, P1; **7**: Stromatolithic microbialite on coral, P2; **8**: *Spirillina* sp. axial section, «alternances supérieures» formation. **AF2** association; **9**: *Ophthalmidium terquemi* axial section, «alternances supérieures» formation; **10**: *Labalina costata* transverse section, «alternances supérieures» formation; **11**: *Textularia* sp. longitudinal section, «alternances supérieures» formation; **12**: *Cornuspira* sp. axial section, P1; **13**: *Trochammina* sp. axial section, «alternances supérieures» formation; **14**: *Verneuillinoïdes* sp. longitudinal section, P4; **15**: *Callorbis minor* axial section, «alternances supérieures» formation. **AF3** association; **16**: Connected crinoid articles, transverse section, «calcaires à entroques inférieurs» formation; **17**: Serpulids, transverse section and geotropic sediments, P2; **18**: Bioclastic grainstone with bryozoans, gastropods, echinodermic fragments, *Stegoconcha* and other bivalves, «calcaires à entroques moyens» formation; **19**: Pharetronid calcisponge, P2; **20**: *Nubecularia reicheli* vertical section, «calcaires à nubéculaires» formation; **21**: *Lenticulina* sp. axial section, P3 dismantled facies; **22**: *Nodosaria* sp. longitudinal section, P4.

calcitique, rend leurs débris difficilement différentiables des fragments de madréporaires ou de bivalves également dissoutes.

4.1.9. Oursins

Si les plaques d'oursins n'ont le plus souvent pas pu être distinguées des articles de crinoïdes, les piquants d'oursins, facilement déterminables en section sont localement fréquents dans les lames minces. Leur répartition ne suit pas toujours exactement celle des entroques, ces organismes ayant probablement des milieux de vie distincts.

4.1.10. Serpules

Ces tubes de vers annélides, sont fréquemment fixés sur des fragments de coquilles ou sur les madréporaires dont ils préfèrent la face inférieure, morte. Quatre types principaux sont distingués: Les plus fréquentes sont constituées d'une paroi à deux couches (interne remplacée par de la calcite, externe microgranulaire foncée). Elles sont coloniales et forment des bouquets au sein desquels on remarque parfois des sédiments internes géotropes. Peu fréquentes sont les formes à paroi à trois couches, interne claire recristallisée, médiane noire microgranulaire et externe claire radiaire. De très rares individus montrent une paroi à une ou deux couches épaisses radiaires. Et un dernier groupe également très rare montre des tubes à paroi entièrement recristallisée.

4.1.11. Bryozoaires

Les cyclostomes bajociens sont omniprésents dans les coupes et particulièrement abondants au Bajocien inférieur dans les niveaux bioclastiques. Ils forment souvent le composant principal des calcaires à entroques avec les crinoïdes et sont plus abondants en Bourgogne que dans les coupes jurassiennes. Ils n'ont pas été déterminés spécifiquement dans ce travail, mais Lathuilière (1981) et B. Walter dans Wernli (1970a) reconnaissent *Mecynoecia thomasi* Walter, *Mesenteripora davidsoni* Haime, *Plagioecia major* Walford, *Plagioecia orbiculata* Goldfuss, *Neuropora spinosa* Lamouroux, *Ceriocava straminea* Phillips, *Ceriocava corymbosa* Lamouroux et avec doute *Stomatopora dichotoma* Lamouroux et *Multisparsa haimeii* Walter.

4.1.12. Calcisphères

Ces micro-organismes incertae sedis sont attribués par Eicher et Diner (1989, 1991) à de probables kystes d'algues planctoniques. Ils sont généralement rares, un peu plus fréquents dans les niveaux à polypiers. *Cadosina* Wanner, genre à paroi microgranulaire brunâtre d'épaisseur variable qui peut être parfois doublée d'une mince couche hyaline externe, est la plus fréquente. *Stomiosphaera* Wanner, forme de petite taille, ne présente qu'une seule couche hyaline radiaire et peut être facilement confondue avec des

sections de nodosaires. *Parastomiosphaera* Borza, très rare, est de plus grande taille, avec une paroi hyaline radiaire externe et une seconde couche microgranulaire interne. *Carpistomiosphaera* Nowak, rare dans nos coupes, montre une couche microgranulaire interne souvent mince et deux couches externes fibro-radiées. *Colomiosphaera* Nowak (Planche 1, fig. 4) fréquente dans nos coupes montre une couche interne microgranulaire mince et une couche fibro-radiée externe de largeur variable. *Committosphaera* Rehanek montre une couche interne large et une ou deux couches externes fibro-radiée. *Stomiosphaera moreti* Durand-Delga, fréquente, est une petite forme à paroi épaisse radiaire qui montre de remarquables «perforations».

4.1.13. Globochaete

Globochaete alpina Lombard et *Eotrix alpina* sont peu abondants. On les trouve surtout dans les faciès micritiques.

4.1.15. Composants divers

Ooïdes: Au Bajocien inférieur, les ooïdes sont très rares en Bourgogne, mais parfois présentes dans le Jura méridional au sommet des CEI voir des CEM. Au Bajocien supérieur, les «Calcaires oolithiques» peuvent former des dépôts importants, mais le faciès peut y être très micritisé. Rappelons que les sédiments actuels abondent parfois d'ooïdes remaniés jusqu'à des profondeurs pouvant atteindre une centaine de mètres (Haak et Schlager 1989; voir également Bosellini et al. 1981), invitant à restreindre une utilisation des seuls ooïdes dans la reconstitution des paléomilieux.

Les péloïdes, allochèmes d'une taille entre 30 et 70 µm sont formés de boue microcristalline. Aucune structure interne ne nous a permis de les attribuer avec certitude à des pellets fécaux. Certains pourraient être des bioclastes ou des microfossiles totalement micritisés. Fréquents, ils sont particulièrement abondants dans le Bajocien supérieur du Jura.

Des microbialites n'ont que rarement été observées. On les rencontre presque exclusivement dans les niveaux à polypiers du Jura, beaucoup plus rarement proches des surfaces perforées ou bioturbées présentes lors de changements brutaux de faciès. En Bourgogne, elles sont surtout présentes dans les niveaux à polypiers, mais également parfois dans les spongolites. De nombreuses croûtes microbiennes rencontrées sont micropéloïdales. Les plus fréquentes sont thrombolitiques, beaucoup plus rarement stromatolitiques (Planche 1, fig. 7).

De rares enchevêtrement de tubes minuscules à paroi foncée pouvant créer des encroûtements parallèles ou des cortex oncoïdiques ont été attribués

à *Girvanella minuta* Whetered. Ces cyanophycées ont été observées principalement dans des constructions récifales.

4.2. Associations faunistiques

Les micro-organismes présentés ci-dessus ont été regroupés, selon les tests statistiques décrits dans le paragraphe 3, en trois assemblages. Le graphique de la figure 3 distingue très nettement ces 3 associations avec les axes 1 et 2 qui représentent 100% de l'information.

La répartition des différents taxons dans ces 3 associations peut être illustrée par ces deux exemples: «*Lenticulina* spp.:3(9)-2(74)-1(315)» dans la colonne AF3 signifie que les *Lenticulina* spp. observées dans nos échantillons, qu'elles soient abondantes («3»), fréquentes («2») ou rares («1»), sont rattachées à l'association faunistique 3 (AF3). Elles sont abondantes «3» dans 9 «(9)» échantillons, fréquentes dans 74 échantillons et rares dans 315. On retrouve «*Lenticulina* spp.:0(185)» dans la colonne AF2, qui signifie qu'elles sont absentes de 185 échantillons et que cette absence est la plus fréquente lorsqu'abondent les taxons rattachés à AF2.

Certains taxons comme les «fragments échinodermiques» sont classés abondants («3») dans AF3, alors qu'ils sont fréquents («2») et rares («1») dans AF1. Cette répartition indique soit des remaniements, soit une tolérance considérable de ce taxon face aux facteurs écologiques limitants (voir théorie de la niche écologique, Blondel 1995). Les «fragments échinodermiques» sont clairement plus ubiquistes que les «*Lenticula* spp.». Leur distribution entre AF3 et AF1 illustre cette ubiquité mais ne signifie pas pour autant que des variations de leur abondance ne soient pas discriminantes. Notons également que si nos associations sont caractérisées par l'abondance de certains microorganismes, l'absence («0») d'autres taxons est elle aussi déterminante.

Les associations ont été synthétisées comme suit: AF1, «associations à spicules, foraminifères monocristallins et pelagos». Elle comprend les spirillines, *Paalzowella*, *Tethysiella*, spicules de géodidés, ostracodes, «filaments», calcisphères (*Cadosina* et *Colomisphaera* essentiellement) et microbialites (Planche 1, figs. 1 à 7).

AF2, «association à foraminifères porcelanés, péloïdes et TVT (Textulariidae, Verneulinidae et Trochamminidae)». Elle regroupe les *Labalina*, *Ophthalmidium*, *Cornuspira*, TVT, *Planinivoluta*, *Callorbis minor*, Nodosariidae et péloïdes (Planche 1, figs. 8 à 14).

AF3, «association bioclastique». Elle regroupe (Planche 1, figs. 15 à 22) les fragments échinodermiques (essentiellement crinoïdiques), bryozoaires, fragments coquilliers divers, gastéropodes, éponges calcaires, serpules, nubéculaires, lenticulines.

Chaque échantillon est alors composé d'une proportion variable de AF1, AF2 et AF3. Cette proportion change verticalement dans les coupes étudiées et reflète l'évolution biosédimentaire. Ce signal comporte évidemment des allochems fraîchement formés et d'autres formés antérieurement mais remaniés. De même que les 11 «pôles macro-faciologiques» présentés au § 2.2 sont presque systématiquement mélangés, chaque échantillon est composé d'une teneur variable de ces trois associations faunistiques qui représentent 3 «pôles faunistiques». Un lien direct entre «pôle macrofaciologique» et «pôle faunistique» est sans conteste beaucoup trop réducteur, mais certaines affinités sont remarquables. Au regard de leur composition micropaléontologique, nous mettons en évidence 3 groupes faciologiques principaux:

■ (1) Les faciès à polypiers, qu'ils se soient développés à fleur d'eau comme parfois sur le haut fond Bourguignon (Durllet et Piana 2001) ou dans des environnements à la limite de l'hermatypisme dans le Jura méridional (Lathuillière 1982; Piuz 2004; Thiry-Bastien 2002) (ainsi que leurs équivalents latéraux et certains calcaires oolithiques) se caractérisent systématiquement par la prédominance d'organismes rattachés à AF1.

■ (2) Les alternances marno-calcaires, interprétées comme caractéristiques des environnements les plus profonds révèlent le plus souvent une dominance de taxons rattachés à AF2.

■ (3) Les principaux niveaux bioclastiques échinodermiques, (calcaires à entroques, calcaires à petites huîtres, etc.), observés dans les environnements très peu profonds de Bourgogne, comme dans la première chaîne du Jura méridional (bathymétrie estimée entre 100 et 150m par Neumeier 1998), se caractérisent par la rareté des taxons rattachés à AF1 et AF2, alors que ceux attribués à AF3 composent l'essentiel du sédiment.

4.3. Distribution verticale des associations faunistiques

La figure 4 illustre la coupe du Magras dans la Haute Chaîne du Jura méridional. Elle montre l'évolution verticale des faunes ainsi que des 3 associations. Ces dernières permettent de synthétiser les fluctuations du signal micropaléontologique tout au long de l'étage. L'examen des 3 associations faunistiques au travers de 17 coupes de terrain (Piuz 2004) ont permis la mise en évidence d'une «séquence type» qui se répète 7 fois au cours du Bajocien. Elle débute par une

forte augmentation de AF1 alors que les faciès sont généralement très micritiques (n°1, Fig. 4). Les calcaires à polypiers (et équivalents latéraux comme des calcaires fins à silex dans l'exemple de la figure 4) montrent typiquement des pics de AF1. Les excursions positives de cette association sont souvent suivies (plus rarement précédées) d'une augmentation de AF2 (n°2, Fig. 4). On trouve ensuite plus ou moins brutalement des niveaux très riches en AF3, avec des valeurs moindres des deux autres associations (n°3, Fig. 4), signal caractéristique des faciès bioclastiques de type «calcaires à entroques». Puis le cycle recommence. Relevons que sur le terrain, la transition des faciès à entroques aux faciès à polypiers se fait presque systématiquement par l'intermédiaire d'une surface remarquable, généralement lisse, perforée ou non. Le passage des niveaux à coraux aux faciès bioclastiques se fait par contre soit par l'intermédiaire d'une surface lisse, souvent perforée, soit de manière progressive (Piuz 2004; Thiry-Bastien 2002). Les

7 séquences recensées grâce aux associations faunistiques (dont B2 à B6 sont représentées au Magras, Fig. 4) s'accordent relativement bien avec les séquences de dépôt de troisième à quatrième ordre sensu Vail et al. (1991) proposées par Durllet (2001a), Durllet et Thierry (2000), Ferry et Mangold (1995), Thiry-Bastien (2002). Mais rappelons qu'une corrélation positive entre deux facteurs n'implique pas nécessairement un lien de causalité direct. Dans tous les cas, ces séquences soulignent trois principaux épisodes riches en AF1 durant les zones à Propinquans (pro parte), Humphriesianum (pro parte), et Garantiana-Parkinsonii (pro parte).

4.4. Distribution latérale des associations faunistiques

4.4.1. A l'échelle locale

En Bourgogne, la qualité des affleurements permet parfois un suivi latéral des corps sédimentaires, des discontinuités, des séquences de dépôt (Durllet et Thierry, 2000, Durllet 2001b, Piuz 2004) et des séquences de faune (Piuz 2004). La géométrie récifale de Vauchignon (Fig. 5) permet d'observer les passages latéraux entre constructions et glacis interrécifaux le long de paléodénivellations qui atteignent 50m hors décompaction (Durllet et al. 2001). Des faciès bioclastiques sont observés dans tous les environnements (latéralement aux faciès à polypiers également), mais les principaux événements échinodermiques qui combinent les dépressions interrécifales particulièrement durant la zones à Propinquans pro parte, ainsi qu'à la fin de la sous-zone à Blagdeni (remarquable dans la partie nord des falaises de Vauchignon, Fig. 5, en vert pâle, avant et après P4) correspondent vraisemblablement à des discontinuités sédimentaires dans les récifs. Des raisons bathymétriques et hydrodynamiques (intensification des courants par «siphonage» dans les zones hautes des constructions) ont certainement joué un rôle décisif dans le façonnement de ces surfaces. Des équivalents «récifaux» contemporains des importants développements bioclastiques échinodermiques (les polypiers poursuivent-ils leur croissance durant ces périodes?) pourraient alors être recherchés dans les faciès de démantèlement des constructions.

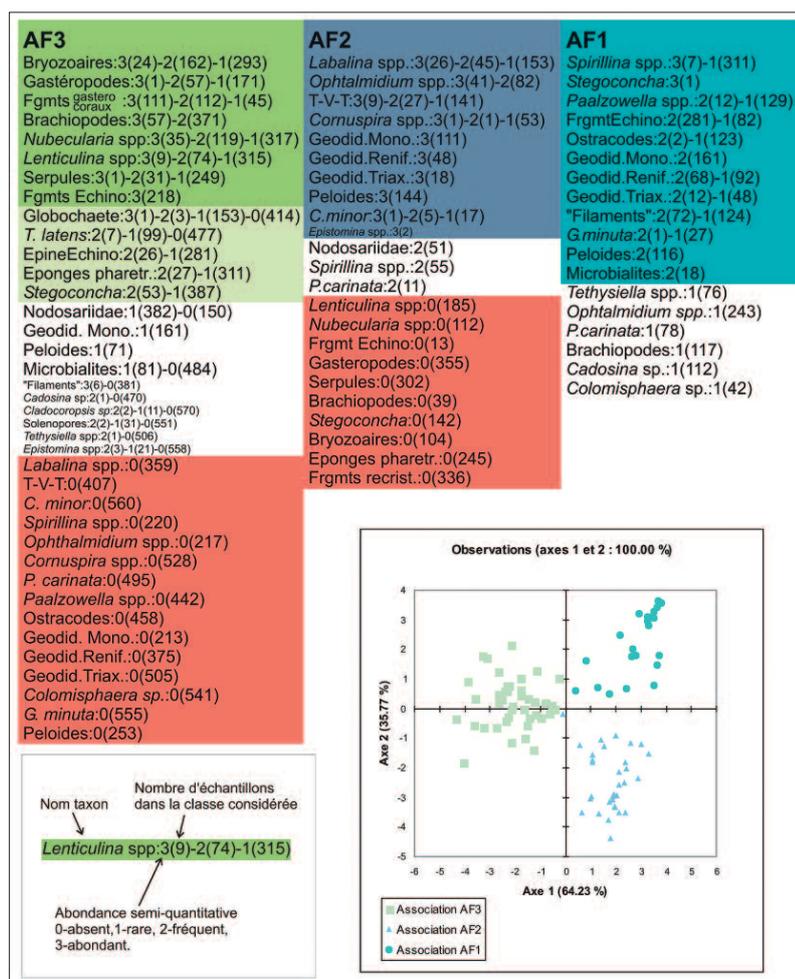


Fig. 3. Les 3 associations de faunes, AF1, AF2 et AF3 validées par AFCM, CAH et AFD (voir explications dans le texte).

Fig. 3. The 3 faunal associations, AF1, AF2 and AF3, determined by Multiple Component Factor Analysis (AFCM), Hierarchical Ascending Classification (CAH) and Discriminant Factor Analysis (AFD).

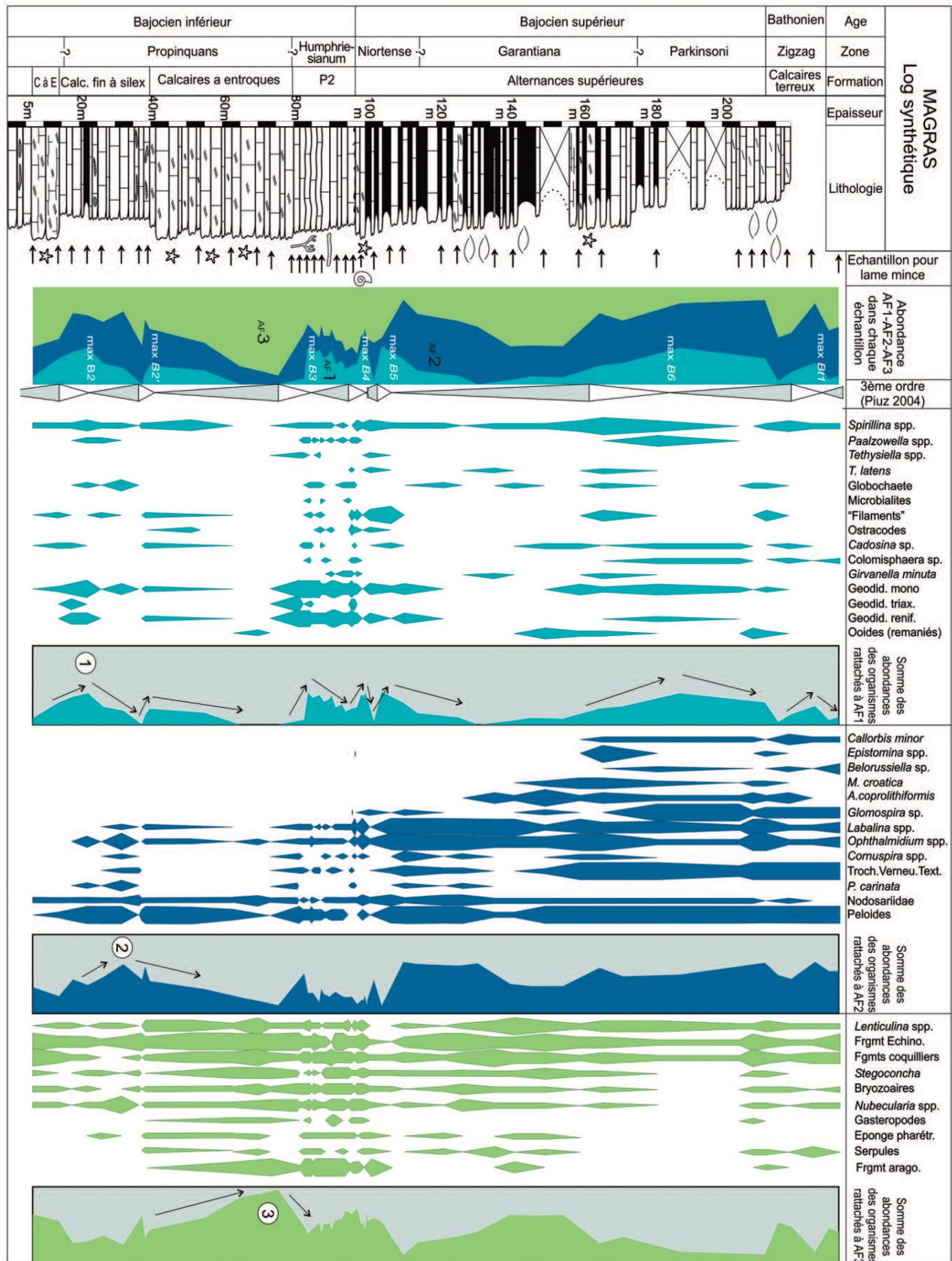


Fig. 4. Coupe synthétique de Magras: Exemple de l'évolution des taxons étudiés et des association faunistiques qui en résultent. Les 3 phases successives caractéristiques d'une séquence type sont numérotées 1, 2 et 3. Légendes des figurés, voir figure 6.

Fig. 4. Synthetic section of Magras: Example of the evolution of the studied taxa along the section, and ensuing faunal associations. The 3 successive phases characterizing a typical faunal sequence are numbered 1, 2 and 3. See fig. 6 for legend.

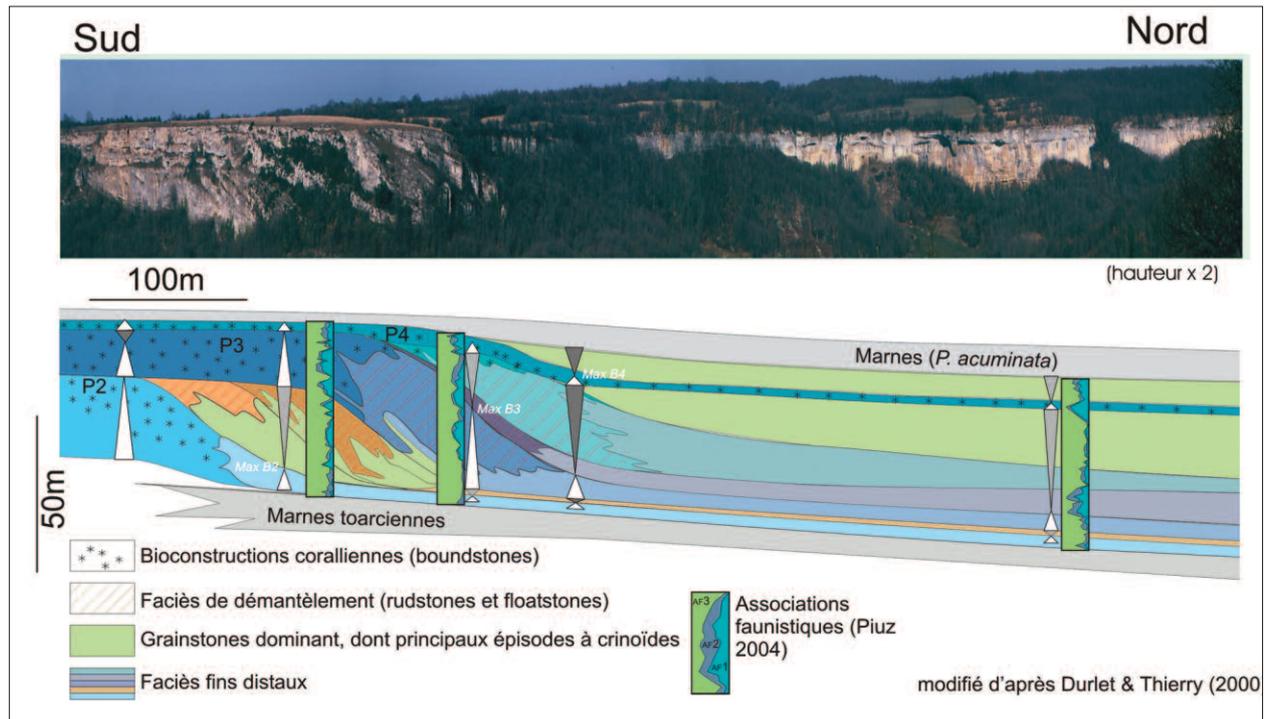


Fig. 5. Affleurement de Vauchignon (Durllet et Piana 2001; Durllet et Thierry 2000; Piuz 2004), voir explications dans le texte.

Fig. 5. Vauchignon outcrop: Interpretation (Durllet et Piana 2001; Durllet et Thierry 2000; Piuz 2004).

Dans le Jura, les constructions de moindre ampleur et les affleurements souvent moins étendus rendent les corrélations plus difficiles. Certaines surfaces condensées sont difficilement décelables, particulièrement sur les affleurements de faible extension. Néanmoins, l'espace d'accommodation plus important dissipe une large part des problèmes liés à l'intense hydrodynamisme des coupes bourguignonnes.

4.4.2. A l'échelle régionale

Quatre coupes de référence entre la Bourgogne et la Haute Chaîne jurassienne sont corrélées sur la figure 6. Elles montrent l'évolution dans l'espace des associations de faune. Les corrélations sont calées sur la discontinuité vésulienne (excepté pour la coupe d'Enfer où elle n'a pu être mise en évidence sur le terrain), sur les ammonites et brachiopodes découverts dans les coupes ou corrélées d'affleurements proches (Durllet et Thierry 2000; Ferry et Mangold 1995; Piuz 2004; Thiry-Bastien 2002), sur des datations palynologiques (R. Jan du Chêne dans Piuz 2004), ainsi que sur la stratigraphie séquentielle des coupes étudiées ou proches (Durllet 2001a; Durllet et Thierry 2000; Ferry et Mangold 1995; Piuz 2004; Thiry-Bastien 2002) et les séquences de faune (Piuz 2004). Ces corrélations révèlent:

■ (1) Les constructions à polypiers (moins développées dans le Jura méridional qu'en Bourgogne), passent latéralement à des faciès souvent constitués de

micrites spongolitiques de composition micropaléontologique proche voir similaire à celui des environnements à polypiers. Ces épisodes riches en AF1 (Fig. 6, bleu clair) permettent de relier les calcaires à polypiers avec des calcaires fins à silex, ainsi que certains niveaux d'alternances marno-calcaires. Notons que des calcaires bioclastiques échinodermiques (riches en AF3) peuvent toujours se développer latéralement à ces faciès, particulièrement dans les récifs bourguignons (Fig. 5, associations faunistiques, coupe sud).

■ (2) Les principaux événements calcarénitiques bioclastiques montrent une bonne continuité latérale et une faible variation de microfaciès. Ils sont dominés par AF3 (Fig. 6, vert clair), et montrent une très faible teneur en AF1. Leur large extension spatiale combinée à l'appauvrissement voir l'absence généralisée de polypiers est caractéristique. En certains points, ces faciès échinodermiques reposent clairement en onlap sur les biohermes (surfaces lisses façonnée par les courants), attestant la postériorité du comblement des dépressions interrécifales (coupe de Dilligence, Piuz 2004).

■ (3) Les alternances marno-calcaires observées dans les coupes distales du Jura interne se distinguent par leur abondance en AF2. Dominance fortement liée au foisonnement des foraminifères à paroi porcelanée (Clerc 2005; Piuz 2004). Abondants dans la Haute Chaîne du Jura méridional, ils sont en revanche plus rares en Bourgogne.

5. Discussion: facteurs de contrôle des associations faunistiques et des systèmes biosédimentaires

De nombreux arrangements du système coraux – crinoïdes sur la plate-forme du Bajocien inférieur ont été proposés par Coulon (1979), Durllet et Thierry (2000), Ferry et Mangold (1995), Lathuilière (1981), Morestin (1986), mais tous, à l'exception de Thiry-Bastien (2002) ont regroupé selon la loi de Walther (Middleton 1973; Walther 1894) les principaux faciès dans un même modèle biosédimentaire. Dans ce modèle, les aires d'accumulations crinoïdiques sont par exemple disposées en position latérale par rapport aux divers types de constructions à polypiers, sous une tranche d'eau soit équivalente, soit différente. Toutefois, au dire de ces auteurs, la définition d'un dispositif récifal polarisé (proximal – distal) n'a jamais pu être clairement établi. Dans ce modèle biosédimentaire unique, il est proposé que les variations d'espace d'accommodation soient le principal facteur entraînant l'évolution des faciès. Par le biais d'un contrôle tectonique local et régional, ou par le biais de variations eustatiques à faible amplitude, il est proposé que les aires d'accumulations crinoïdiques ont perduré tout au long du Bajocien inférieur mais qu'elles ont migré latéralement, en fonction de la géométrie progradante ou rétrogradante de la plate-forme (Durllet et Thierry 2000; Durllet et al. 2001; Ferry et Mangold 1995; Jacquin et al. 1998).

A la suite de ce modèle unique, Thiry-Bastien (2002) qui remarque qu'il existe de longues périodes où seules les calcarénites se déposent, propose deux profils de dépôts distincts pour la zonation des faciès sur les plates-formes bajociennes. Ils correspondent aux deux principaux types de faciès (faciès calcarénitiques et faciès à madréporaires) qui se relaient ou coexistent au cours de l'étage. Sans véritables considérations paléontologiques mais sur des arguments essentiellement sédimentologiques (figures sédimentaires, texture et architecture des constructions récifales) et stratigraphiques (corrélations séquentielles à l'échelle régionale), Thiry-Bastien (2002) illustre (1) un modèle de rampe calcarénitique riche en accumulations crinoïdiques mais dépourvu de vastes bioconstructions coralliennes et (2) un modèle de plate-forme corallienne où divers types de bioconstructions (biohermes et biostromes) s'installent sur une plate-forme dont la topographie est accidentée par la tectonique synsédimentaire. Dans ce dernier cas, la production et la sédimentation d'entroques ne serait pas stoppée mais réduite, et souvent délayée au sein d'une production bioclastique ou oolitique variée, moins favorable à la formation d'encrinites.

Les résultats qualitatifs et quantitatifs obtenus dans la présente étude micropaléontologique présentent une certaine adéquation avec les deux profils sédimentaires de Thiry-Bastien (2002). En effet, l'arrangement vertical et horizontal des associations faunistiques, en particulier AF1 et AF3, est en accord avec l'existence de deux pôles entre lesquels a alterné la sédimentation bajocienne. Les épisodes à prédominance de AF1 s'accordent volontiers avec le modèle de plate-forme récifale qui peut montrer de fortes paléodénivellations (en Bourgogne particulièrement), alors que l'association AF3 est elle associée au modèle de rampe bioclastique calcarénitique sans polypiers et à faible teneur en AF1. L'association AF2 peut en revanche prédominer dans l'un ou l'autre modèle sédimentaire, en particulier dans leurs parties les plus distales et profondes.

Cette bonne adéquation entre les données purement sédimento-stratigraphiques et les données micropaléontologiques fournit-elle des éléments nouveaux pour interpréter les alternances dans le temps de deux systèmes biosédimentaires?

La combinaison de six points doit être soulignée: (1) La dissemblance des microfaunes rencontrées durant ces deux types de paléo-paysages (associations AF1-AF3); (2) leur persistance respective sur des surface importantes (près de 200 km entre nos coupes les plus septentrionale et méridionale); (3) le faible endémisme des faunes (très faibles variations faunistiques entre une tranche d'eau de quelques mètres en Bourgogne et 100 à 150 mètres de fond dans la Haute Chaîne jurassienne); (4) la raréfaction voir l'absence systématique de polypiers alliée à la faible teneur (voir l'absence) des faunes de AF1 durant les principaux épisodes bioclastiques échinodermiques; (5) la présence locale de faciès à entroques latéralement aux niveaux à polypiers durant les épisodes favorables au coraux et faunes de AF1; ainsi que (6) le caractère potentiellement corrélable d'un point de vue biostratigraphique entre des biofaciès similaires dans nos différents affleurement.

Ces arguments permettent de considérer: Premièrement, malgré des différences hydrodynamiques avérées entre la mise en place des calcaires à polypiers (essentiellement bindstones et framstones à microfaciès mudstones à wackestones) et des principaux événements bioclastiques échinodermiques (fréquentes dunes hydrauliques, microfaciès le plus souvent grainstones à packstones), les variations de composition micropaléontologique ne peuvent pas s'expliquer aisément par le seul tri sélectif de courants. Deuxièmement, les variations d'espace d'accommodation envisagées au Bajocien (Durllet et Thierry 2000; Jacquin et al. 1998; Thiry-Bastien 2002), semblent à elles seules ne pas suffire à justifier

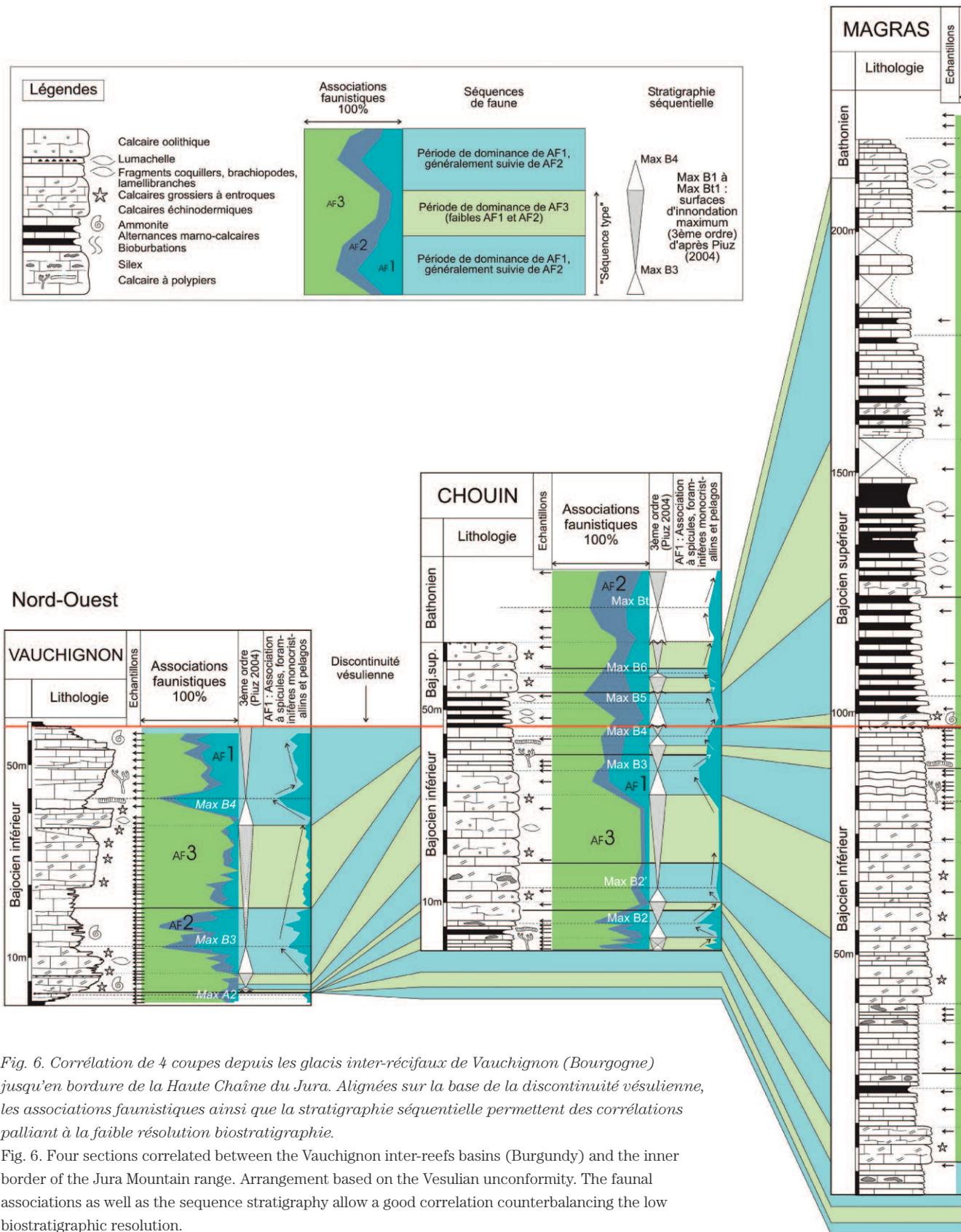
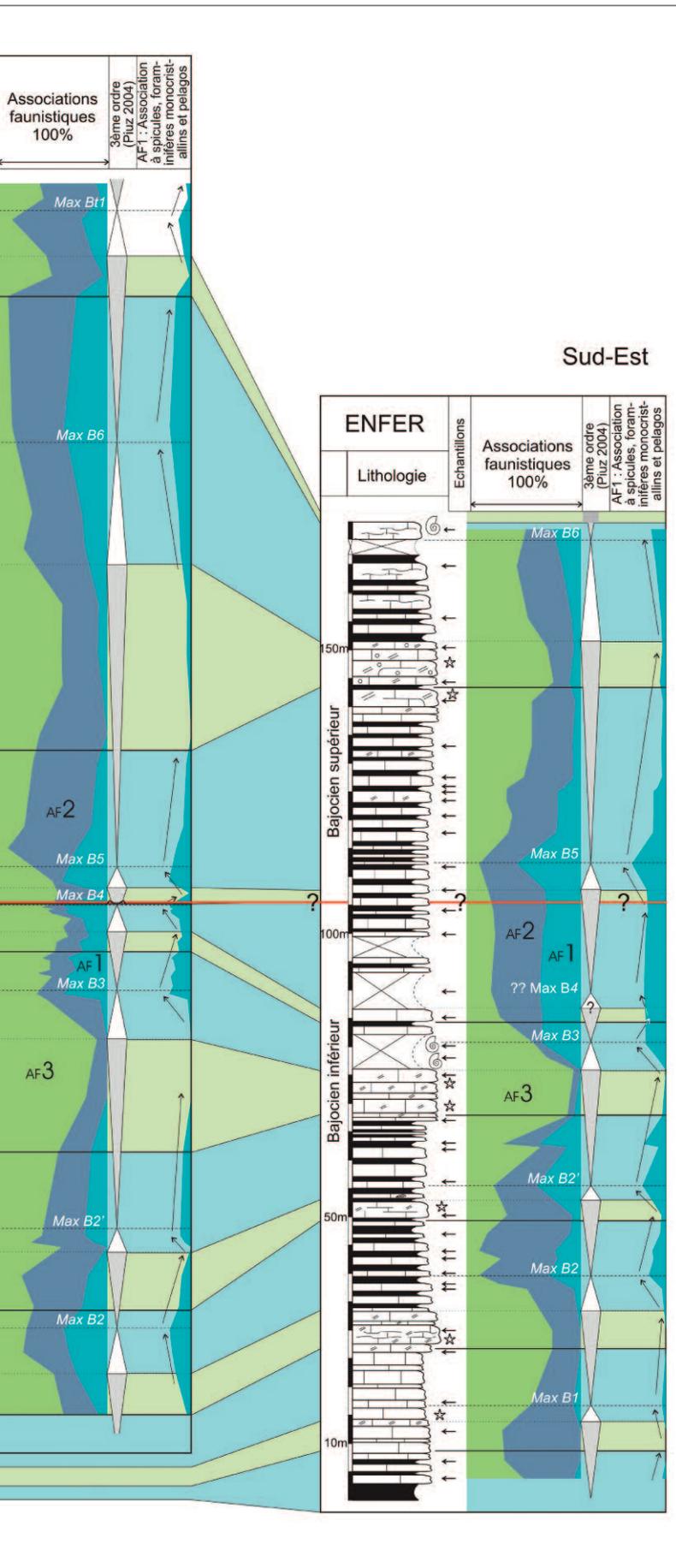


Fig. 6. Corrélation de 4 coupes depuis les glacis inter-récifaux de Vauchignon (Bourgogne) jusqu'en bordure de la Haute Chaîne du Jura. Alignées sur la base de la discontinuité vésulienne, les associations faunistiques ainsi que la stratigraphie séquentielle permettent des corrélations palliant à la faible résolution biostratigraphie.

Fig. 6. Four sections correlated between the Vauchignon inter-reefs basins (Burgundy) and the inner border of the Jura Mountain range. Arrangement based on the Vesulian unconformity. The faunal associations as well as the sequence stratigraphy allow a good correlation counterbalancing the low biostratigraphic resolution.



ces changements paléontologiques qui restent difficilement explicables en termes de seules variations d'origine tectonique ou eustatique de l'espace disponible.

Des facteurs relatifs à la nature des eaux doivent alors être envisagés. Nous savons en effet que la quantité de nutriments, l'oxygénation, la turbidité, la chimie, la température, la salinité, la compétition, sont déjà largement reconnus pour leur influence sur l'évolution des faunes (par exemple Boltovskoy et Wright 1976; Bouhamdi et al. 2000; Murray 1991; Van der Zwaan et al. 1999).

5.1. Nutriments, turbidité et température

Sur la plate-forme jurassico-bourguignonne, les épisodes de raréfaction des écosystèmes coralliens et de diminution (voire de disparition) des faunes de AF1, contemporains du développement d'abondants organismes benthiques suspensivores (dont les débris forment la plus grande partie de AF3), résultent de changements de la qualité des eaux qui deviendraient défavorables aux premiers et favorables aux seconds?

Les conditions propices au développement des producteurs primaires des communautés récifales fossiles est directement liée à leur type trophique, photoautotrophes ou hétérotrophes (Leinfelder et al. 1996; Santon 2006). L'augmentation de ressources trophiques par exemple influe sur les structures et la distribution d'un écosystème, perturbant les communautés à dominance phototrophique au profit des producteurs essentiellement hétérotrophes (Dupraz et Strasser 2002; Föllmi et al. 1994, 2007; Hallock et Schlager 1986). La quantité de nutriments et l'oxygénation, reconnus comme les facteurs les plus influents sur l'écologie des foraminifères benthiques (Van der Zwaan et al. 1999) contribuent certainement à l'arrangement des assemblages formant nos associations AF1 à AF3. Les polypiers hermatypiques bajociens ont manifestement acquis la symbiose avec les zooxanthelles (Lathuilière 1999, 2000b), et bien que certains polypiers microsolenidés montrent des aptitudes particulières à tolérer des environnements difficiles, parmi lesquels des milieux enrichis en nutriments (Dupraz et Strasser 2002 cum biblio), les environnements stables à eaux chaudes et claires, plutôt déficientes en nutriments (oligo- à mésotrophes), semblent les plus favorables au développement des madreporaires (Dupraz et Strasser 2002; Hallock et Schlager 1986; Insalaco 1996; Leinfelder et al. 1994, 1996, Kiessling et al. 2002; Santon 2006). Les périodes caractérisées par l'abondance des faunes de notre association AF1, durant lesquelles se déposent les calcaires à polypiers (et leurs équivalents laté-

raux), ainsi que les calcaires oolithiques, s'apparentent au «coral-oolite carbonate production mode» de Föllmi et al. (1994) (voir également Föllmi et al. 2007, ainsi que James 1997, «photozoan association», et Lees et Buller 1972, «chlorozoan association»), bien que les algues dasycladales soient absentes de nos dépôts (absence généralisée aux latitudes plus septentrionales que 25-30° Nord au Bajocien, Piuz 2004). L'abondance des spicules de géodidés dans la matrice micritique des constructions à polypiers rattache nos faciès spongolitiques à cette association, bien que les éponges siliceuses semblent moins sensibles aux variations environnementales que les coraux (Keupp et al. 1996; Leinfelder et al. 1996; Olivier et al. 2004).

Au contraire, durant les périodes où la production carbonatée est dominée par les crinoïdes, bryozoaires bivalves et brachiopodes (absence de polypiers et moindres quantités de AF1), notre association AF3 s'impose. Ce type de faciès s'apparente au «crinoid-bryozoan carbonate production mode» de Föllmi et al. 1994 (voir également Föllmi et al. 2007, ainsi que James 1997, «heterozoan association» et Lees and Buller 1972, «foramol association»). Ils indiqueraient des eaux plutôt fraîches et à tendance méso-eutrophiques (Föllmi et al. 1994, 2007; Halfar et al. 2004; James 1997; Van de Schootbrugge et al. 2000).

5.1.1. Pôle à AF3: Interprétation

Les sédiments des principaux événements échinodermiques (CEI, CEM, CPH et autres événements bioclastiques contemporains) dans lesquels abondent des faunes de l'association AF3 (association bioclastique avec notamment crinoïdes, fragments coquillers, bryozoaires, gastéropodes, lenticulines) et se raréfient celles de AF1, représentent notre pôle AF3. Les polypiers y sont rares voir le plus souvent absents. Nous proposons que ces dépôts reflètent des augmentations des ressources nutritives, et/ou un refroidissement des eaux de surface, et/ou une augmentation de la turbidité, ainsi que de leurs implications sur l'oxygénation des eaux. Des études de géochimie isotopique nécessaires à confirmer ou infirmer nos propos font actuellement défaut. Toutefois, les investigations de différents auteurs permettent d'étayer nos propos: Des courants dominants allant du bassin de Genève vers le Jura (Neumeier 1998), ainsi que des diminutions de température des eaux de surface, au début du Bajocien supérieur notamment (Durllet 2001a; Picard 2001; Picard et al. 1998), permettent d'envisager des apports d'eaux froides riches en nutriments (upwellings). Ils auraient été favorables aux taxons composant AF3, et défavorables à ceux de AF1 ainsi qu'aux écosystèmes coralliens (Mallinson et al. 1996). Les périodes à climat chaud et saisons hu-

mide (régimes de moussons?) documentés dans le Bajocien de Hongrie (Raucsik et al. 1998, 1999, 2000), ainsi que les indicateurs de climat humide dans le Bajocien inférieur, puis plus aride dans le Bajocien «moyen» d'Angleterre (Hesselbo et al. 2003) suggèrent également (malgré l'impossibilité de corrélations précise) qu'une augmentation du lessivage continental pourrait limiter les zones propices (Mc Laughlin et al. 2005) aux coraux zooxanthellés durant certains intervalles du Bajocien inférieur au moins. Notons également les épisodes dysoxiques/anoxiques observés en Pologne à la même période (Tyszka 1992, 1994a,b, 1997; Tyszka et Kaminski 1995), en rappelant que l'oxygène peut devenir limité sous des eaux à tendance eutrophiques.

La transition vers ces environnements à AF3 se caractérise par une diminution de la diversité et de la teneur en AF1 (parfois AF2) au profit de AF3 qui explose (Piuz 2004). L'abondance de nutriments stimulerait la croissance du benthos suspensivore ahermatypique, et le biotope serait progressivement dominé par les faunes dont les débris composent les impressionnantes accumulations de calcaires bioclastiques échinodermiques que l'on connaît au Bajocien inférieur. Les niveaux à huîtres (CPH et marnes à *acuminata*) de la base du Bajocien supérieur pourraient résulter d'un épisode d'eutrophisation accompagné d'une diminution des températures des eaux de surface (Durllet 2001a) permettant la croissance rapide des huîtres (*P. acuminata*) et crinoïdes qui vont très largement dominer l'écosystème. L'abondance de sédiments argileux pourrait alors résulter d'un important lessivage continental entraînant une dilution voir une réduction de la sédimentation carbonatée. Rappelons que sur les hauts-fonds téthysiens (actuels Apennins et Alpes du Sud), la sédimentation carbonatée du Bajocien inférieur va s'interrompre au Bajocien supérieur pour faire place à la sédimentation radiolaritique de la Téthys (Bartolini et Cecca 1999; Bartolini et al. 1996, 1999; Baumgartner 1987; Cecca et al. 1991).

5.1.2. Pôles à AF1 et AF2: Interprétation

Les périodes de développement des faunes de l'association AF1 et des polypiers (calcaires à polypiers et équivalents latéraux, calcaires fins à silex, certaines alternances marno-calcaires du Jura interne, calcaires oolithiques) illustrent notre pôle AF1. Intercalés entre les épisodes bioclastiques échinodermiques à AF3 décrits ci-dessus, ces dépôts refléteraient des eaux plutôt chaudes, claires, oligo- à modérément mésotrophiques sous un climat peut-être plus chaud et aride. La transparence des eaux permettrait aux coraux, le plus souvent inclus dans une matrice typiquement micritique (contrairement à ceux du Jurassique supérieur, voir Meyer 2000),

de se développer jusqu'à des profondeurs considérables dans certaines régions du Jura méridional (40-80m établi sur la base des paleobiocénoses par Lathuilière 1982).

Après les épisodes à polypiers du Bajocien inférieur (P1 à P4, Jura méridional et Bourgogne), la partie supérieure de l'étage connaît des périodes aux tendances comparables. Au Bajocien supérieur, les madréporaires sont absents du Jura méridional et de Bourgogne. Les calcaires oolithiques qui se développent dans le Jura méridional indiquent des conditions paléoécologiques favorables à AF1, alors que quelques récifs se développent dans le Jura suisse (fig. 2, Gonzalez 1996; Gonzalez et Wetzel 1996 cum biblio). Les environnements contemporains plus profonds (Haute Chaîne du Jura méridional, Neumeier 1998; Piuz 2004) voient se déposer des alternances marno-calcaires spongolitiques. Les microfaunes qui composent notre association AF2 (dont l'évolution suit AF1 dans ses raréfactions durant les épisodes à AF3) abondent typiquement dans ces faciès.

La transition des épisodes crinoïdiques vers les périodes à polypiers se marque généralement par une diversité croissante liée à la forte augmentation des faunes de AF1 et parfois de AF2 (Piuz 2004). Les organismes de AF3 sont omniprésents durant les périodes à polypiers et d'importantes accumulations de leurs fragments peuvent toujours être rencontrés. Ils y forment néanmoins des dépôts souvent moins conséquents que durant les épisodes bioclastiques échinodermiques qui sont eux caractérisés par une diminution drastique des composants de l'association AF1 alliée à la raréfaction voir disparition complète des écosystèmes coralliens.

La figure 7 schématise la succession des deux pôles biosédimentaires principaux au cours du Bajocien inférieur.

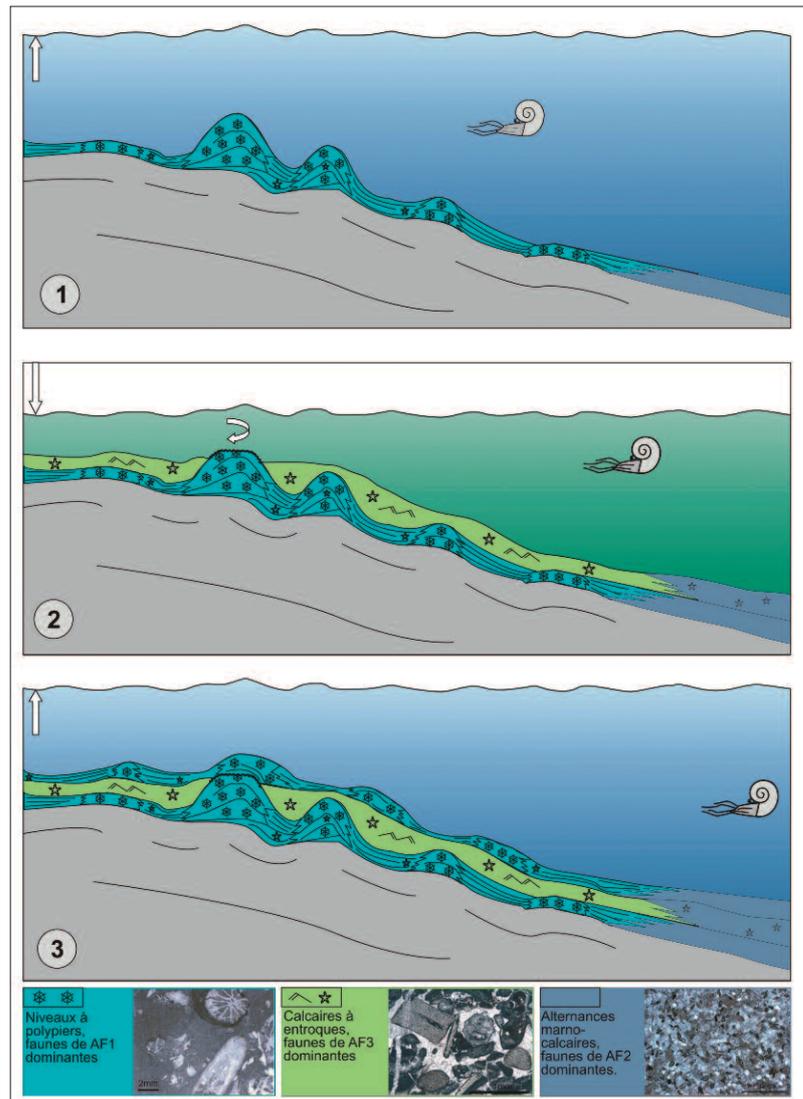


Fig. 7. Modèle très simplifié illustrant les 2 pôles principaux de sédimentation responsables du développement des calcaires à entroques et calcaires à polypiers.

Phase 1: Biotope dominé par les polypiers et faunes de AF1, eaux chaudes, claires, oligo- à mésotrophiques, niveau marin globalement haut, climat à tendance chaud et aride.

Phase 2: Episodes bioclastiques à entroques, climat tempéré et humide, important lessivage continental, eaux troubles eutrophiques tempérées, mort du système récifal zooxanthellé, forte croissance du benthos suspensivore ahermatypique de AF3, upwelling, niveau marin globalement bas.

Phase 3: Retour à des conditions favorables au développement des polypiers et faunes de AF1

Fig. 7. Simplified model showing the 2 main sedimentation poles responsible of the development of the crinoidal and coral limestones.

Stage 1: Biotope dominated by coral reefs and their specific microfauna, warm, clear, oligo- to mesotrophic water, high global sea level, probably hot and arid climate.

Stage 2: Crinoidal episodes, temperate and humid climate, strong continental erosion, cool and eutrophic water, possible death of zooxanthellate reefal system, strong expansion of the ahermatypic suspensivorous benthic organisms, upwelling, low global sea level.

Stage 3: Back to conditions favorable to coral growth and its associated microfauna.

5.2. Les contrôleurs potentiels des changements paléocologiques bajociens

Nous ne traitons pas ici de l'évolution verticale et latérale des faciès. Elle est discutée dans le paragraphe 4 ainsi que dans Piuz (2004), qui développe également les relations entre les associations faunistiques et la stratigraphie séquentielle. Nous avons vu plus haut que les changements de faune observés dans nos coupes semblent largement influencés par des facteurs relatifs à la nature des eaux. Les événements potentiellement responsables de ces oscillations entre les pôles à AF1 et à AF3 peuvent alors être recherchés dans (1) les modifications paléogéographiques (également revendiquées comme facteurs principaux influençant les cycles globaux de lessivage, Gibbs et al. 1999), (2) le fonctionnement des dorsales médio-océaniques (influant sur le chimisme des eaux et les circulations océaniques) ainsi que (3) le volcanisme (effet de serre lié à une augmentation du CO₂ atmosphérique).

Rappelons très brièvement qu'à l'Aaléno-Bajocien s'ouvrent la Téthys et l'Atlantique, en même temps que naît la plaque Pacifique. Ces événements sont accompagnés de pulsions majeures de magmatisme (Bartolini et Larson 2001) qui induisent d'importantes modifications paléogéographiques et de nouvelles zones d'épanchement de laves, entraînant des variations considérables dans la courantologie et la nature des eaux (Bartolini et Cecca 1999; Bill et al. 2001; Colacicchi et al. 2000). A ceci s'ajoute un important volcanisme aérien Aalénien supérieur – Bajocien documenté en Antarctique et Afrique du Sud (Rampino et Stothers 1988). Dromart et al. (1996) montrent que les événements volcaniques du Karoo (Afrique du Sud) à l'Aalénien supérieur coïncident remarquablement bien avec une importante crise carbonatée durant la zone à Discites (dépôt des CEL) dans l'est de la France.

Afin de préciser les fluctuations d'intensité des différents facteurs, leur influence sur les conditions environnementales, et leurs conséquences sur l'évolution et la répartition des faunes, ainsi que sur les variations de l'espace d'accommodation, ces renseignements devront être complétés et détaillés. Ils sont très probablement des clefs du contrôle du système sédimentaire bajocien.

6. Conclusions

La plate-forme échinodermique bajocienne du Jura et de Bourgogne a été abordée par l'étude micropaléontologique de 17 coupes de terrain situées principalement dans le Jura méridional et la Bourgogne.

L'analyse détaillée de la répartition des microfaunes, intégrée aux données géométriques de terrain, à la biostratigraphie et à la stratigraphie séquentielle (Durllet et Thierry 2000; Ferry et Mangold 1995; Piuz 2004; Thiry-Bastien 2002) a permis de montrer la sensibilité des faunes aux facteurs environnementaux. Les résultats suggèrent que si l'espace d'accommodation est largement responsable de l'arrangement des dépôts (morphologie des constructions à polypiers, organisation sédimentaires des niveaux bioclastiques), la nature des eaux (principalement trophisme, température, turbidité, chimisme, oxygénation) est l'un des principaux contrôleurs de l'évolution biosédimentaire. La sédimentation carbonatée aurait évolué entre 2 pôles paléocologiques diachrones: 1) un pôle favorable au développement des coraux – oolithes et faunes de AF1 (spicules d'éponge, foraminifères monocristallins et pelagos). Il serait caractéristique d'eaux plutôt chaudes, claires, oligo- à mésotrophiques, sous un climat probablement chaud et aride. 2) un pôle favorable au développement des crinoïdes et faunes de AF3 (association bioclastique avec notamment crinoïdes, fragments coquillers, bryozoaires, gastéropodes, lenticulines) mais très appauvri voir dépourvu de polypiers hermatypiques. Il refléterait des eaux plus fraîches, méso – eutrophiques, peut être turbides, sous un climat possiblement plus tempéré et humide. De telles modifications de la qualité des eaux sur la plate-forme bourguignonne et jurassienne pourraient être liées à des modifications de la courantologie océanique entre les domaines boréaux, téthysiens et proto-atlantiques. Elles pourraient aussi être les conséquences de modifications climatiques et/ou d'augmentations de l'activité magnétiques (volcanisme sous-marin et aérien) en relation avec l'ouverture de l'Atlantique et la naissance de la plaque pacifique. L'extension de notre terrain d'étude à d'autres points de la Téthys, ainsi que des données isotopiques (C,O) sur nos coupes permettront de mieux interpréter encore ces plates-formes bioclastiques échinodermiques dont nous ne connaissons aucun équivalent dans les mers actuelles.

Remerciements

Meilleurs remerciements aux Professeurs C. Durllet, R. Wernli, P. Kindler et A. Strasser pour leur contribution à l'amélioration de ce manuscrit, ainsi qu'au Dr J.-C. Loubier pour la partie statistique.

Bibliographie

- **AMEZIANE COMINARDI N.** 1991. Distribution bathymétrique des pentacrines du Pacifique occidental; essai de modélisation et d'application aux faunes du Lias (problèmes de tectono-eustatisme au cours du rifting téthysien). Documents du Laboratoire de Géologie de Lyon, 116.
- **ALMERAS Y, LATHUILIERE B.** 1984. Paléontologie et paléocéologie de *Parvirhynchia parvula* (DeLongchamps), brachiopode récifal et péirécifal du Bajocien moyen. *Geobios*, 17 (6): 797-822.
- **ARNAUD-VANNEAU A, MASSE, JP.** 1989. Les foraminifères benthiques des formations carbonatées de l'Hauterivien-Barrémien pro parte du Jura Vaudois et Neuchâtelois (Suisse). Mémoires de la Société neuchâteloise de Sciences naturelles, XI: 257-276.
- **BARFETY JC.** 1985. Le Jurassique dauphinois entre Durance et Rhône. Etude stratigraphique et géodynamique. Zone externe des Alpes occidentales françaises. Documents du BRGM, 131.
- **BARTOLINI A, CECCA F.** 1999. 20 my hiatus in the Jurassic of Umbria-Marche Apennines (Italy); carbonate crisis due to eutrophication. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, série II*, 329 (8): 587-595.
- **BARTOLINI A, LARSON R.** 2001. Pacific microplate and the Pangea supercontinent in the Early to Middle Jurassic. *Geology*, 29: 735-738.
- **BARTOLINI A, BAUMGARTNER PO, HUNZIKER J.** 1996. Middle and Late Jurassic carbon stable-isotope stratigraphy and radiolarite sedimentation of the Umbria-Marche Basin (Central Italy). *Eclogae Geologicae Helveticae*, 89 (2): 811-844.
- **BARTOLINI A, BAUMGARTNER PO, GUEX J.** 1999. Middle and Late Jurassic radiolarian palaeoecology versus carbon-isotope stratigraphy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 145 (1-3): 43-60.
- **BAUMGARTNER PO.** 1987. Age and genesis of Tethyan Jurassic radiolarites. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 80 (3): 831-879.
- **BERNIER P.** 1984. Les formations carbonatées du Kimméridgien et du Portlandien dans le Jura méridional. Stratigraphie, micropaléontologie, sédimentologie. Documents du Laboratoire de Géologie de Lyon, 92 (1-2): 1-803.
- **BILL M, O-DOGHERTY L, GUEX J, BAUMGARTNER PO, MASSON H.** 2001. Radiolarite ages in Alpine-Mediterranean ophiolites; constraints on the oceanic spreading and the Tethys-Atlantic connection. *Geological Society of America Bulletin*, 113 (1): 129-143.
- **BITTERLI BP.** 1979. Cyclic sedimentation in the upper Bathonian - Callovian of the Swiss Jura mountains. Symposium Sédimentation Jurassique W. Européen. A.S.F. Publication, 1: 99-106
- **BLAU J.** 1987a. Neue Foraminiferen aus dem Lias der Lienzer Dolomiten. Teil I: Die Foraminiferenfauna einer roten Spaltenfüllung in Oberrhätalkalken. *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, Wien*, 129 (3-4): 495-523.
- **BLAU J.** 1987b. Neue Foraminiferen aus dem Lias der Lienzer Dolomiten Teil II (Schluss): Foraminiferen (Involutinina, Spirillinina) aus der Lavanter Breccie (Lienzer Dolomiten) und den Nördlichen Kalkalpen. *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, Wien*, 130 (1): 5-23.
- **BLAU J, HAAS J.** 1991. Lower Liassic involutinids (foraminifera) from the Transdanubian Central Range, Hungary. *Paläontologische Zeitschrift*, 65 (1/2): 7-23.
- **BLONDEL J.** 1995. Biogéographie, approche écologique et évolutive. Collection écologie 27, Masson, Paris.
- **BOLTOVSKOY E, WRIGHT R.** 1976. Recent foraminifera. 2nd edition, Dr. W. Junk b.v. publishers, The Hague, Netherlands.
- **BOSELLINI A, MASETTI D, SARTI M.** 1981. A Jurassic 'Tongue of the Ocean' infilled with oolitic sands: the Belluno Trough, Venetian Alps, Italy. *Marine Geology*, 44: 55-95.
- **BOUHAMDI A, GAILLARD C, RUGET C, BONNET L.** 2000. Foraminifères benthiques de l'Oxfordien moyen de la plate-forme au bassin dans de Sud-Est de la France; répartition et contrôle environnemental. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 93 (3): 315-330.
- **BOURSEAU JP, COMINARDI N, ROUX M.** 1988. La zonation bathymétrique des crinoïdes pédonculés actuels: un modèle de référence pour les reconstitutions paléobathymétriques. *Géologie Méditerranéenne*, XV (1): 83-89.
- **BURKHALTER RM.** 1995. Ooidal ironstones and ferruginous microbialites; origin and relation to sequence stratigraphy (Aalenian and Bajocian, Swiss Jura Mountains). *Sedimentology*, 42 (1): 57-74.
- **BURKHALTER R M.** 1996. Die Passwang-Alloformation (unteres Aalenien bis unteres Bajocien) im zentralen und nördlichen Schweizer Jura. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 89 (3): 875-934.
- **CARIOU E, CONTINI D, DOMMERMUES JL, ENAY R, GEYSSANT JR, MANGOLD C, THIERRY J.** 1985. Biogéographie des ammonites et évolution structurale de la Téthys au cours du Jurassique. *Bulletin de la Société géologique de France*, 8/1 (5): 679-697.
- **CECCA F, CRESTA S, PALLINI G, SANTANTONIO M.** 1991. Il Giurassico umbro-marchigiano; progressi nel periodo 1982-1991 sulla paleontologia e biostratigrafia ad ammoniti; riflessi sull'inquadramento degli eventi sedimentari. *Paleopelagos*, 1: 83-112.
- **CHAROLLAIS J, CLAVEL B, BUSNARDO R, MAURICE B.** 1989. L'Hauterivien du Jura du Bassin genevois. Mémoires de la Société Neuchâteloise de Sciences Naturelles, XI: 49-72.
- **CIARAPICA G, PASSERI L.** 1978. I Grezzoni del nucleo apuano; nascita, sviluppo e morte di una piattaforma carbonatica iperalina. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 97 (4): 527-564.
- **CLERC C.** 2005. Les Miliolina (foraminifères porcelanés) du Dogger du Jura méridional (France): Systématique, stratigraphie et paléoenvironnement. *Terre & Environnement*, 56.
- **COLLET LW.** 1943. La nappe de Morcles entre Arve et Rhône. Matériaux pour la carte géologique de la Suisse. Bern, Switzerland. Kümmerly & Frey.
- **COLACICCHI R, BARTOLINI A, BAUMGARTNER PO.** 2000. Siliceous sedimentation in the mediterranean Jurassic caused by volcanism, greenhouse climate and eutrophication. *GeoResearch Forum*, 6: 417-426.
- **CONTI MA, MONARI S.** 1992. Thin-shelled bivalves from the Jurassic Rosso Ammonitico and Calcarei a Posidonia formations from the Umbrian-Marchean Apennine (Central Italy). *Palaeopelagos*, 2: 193-213

- **CONTINI D.** 1970. L'Aalénien et le Bajocien du Jura franc-comtois: étude stratigraphique. Thèse de doctorat, Université de Besançon. Inédit.
- **COULON M.** 1979. Les systèmes biosédimentaires en relation avec les calcaires à entroques de Bourgogne (Aalénien-Bajocien). Stratigraphie - sédimentologie - géochimie. Thèse 3^e cycle, université de Dijon. Inédit.
- **DARDEAU G, GRACIANSKY PC.** 1990. Halocinèse et jeux de blocs pendant l'évolution de la marge européenne de la Téthys – les diapirs des Baronnies et des Alpes-Maritimes. Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf Aquitaine, 14: 111-151.
- **DAULIN JL.** 1969. Les calcaires du Bajocien de Bourgogne. Stratigraphie, sédimentologie. Thèse de troisième cycle de géologie, Université de Dijon. Inédit.
- **DAVID J.** 1998. Adaptation morphologique, croissance et production bioclastique chez les crinoïdes pédonculés actuels et fossiles (Pentacrinés et Millericrinina). Application paléocéologique aux gisements du Jurassique supérieur des Charentes et du Nord-Est du Bassin de Paris. Thèse de Doctorat, Université de Reims. Inédit.
- **DAVID J, ROUX M.** 2000. Modèle actuel de production bioclastique par les crinoïdes pédonculés. Application au calcaire à entroques d'Euville (Oxfordien de la Meuse). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Séries IIA – Science de la terre et des planètes, 330 (2): 111-116.
- **DEBRAND-PASSARD S, COURBOULEIX S, LIENHARDT MJ.** 1984. Synthèse géologique du Sud-est de la France. Mémoire du Bureau de Recherche Géologiques et Minières, 125, Stratigraphie et Paléogéographie, 1. BRGM, Orléans.
- **DELANCE JH, RUGET C.** 1989. Foraminifères du Dogger nivernais. Revue de Micropaléontologie, 32 (3): 195-214.
- **DERCOURT J, GAETANI M, VRIELYNCK B, BARRIER E, BIJU-DUVAL B, BRUNET MF, CADET JP, CRASQUIN S, SANDULESCU M.** 2000. Atlas Peri-Tethys, Palaeogeographical maps. CCGM/CGMW, Paris: 24 maps and explanatory notes.
- **DERCOURT J, RICOU LE, VRIELYNCK B.** 1993. Atlas Tethys Palaeoenvironmental Maps. Gauthier-Villars, Paris.
- **DONZEAU M, WERNLI R, CHAROLLAIS J, MONTJUVENT G.** 1997. Notice explicative, Carte géologique de France (1/50000), feuille Saint-Julien-en-Genevois (653). Orléans. BRGM.
- **DROMART G, ALLEMAND P, GARCIA JP, ROBIN C.** 1996. Variation cyclique de la production carbonatée au Jurassique le long d'un transect Bourgogne-Ardèche, Est-France. Bulletin de la Société Géologique de France, 167 (3): 423 – 433
- **DUMANOIS A.** 1982. Les huîtres des Marnes à *Ostrea acuminata* et leur signification (Bajocien supérieur de Bourgogne, France), Thèse 3^e cycle, Université de Dijon. Inédit.
- **DUPRAZ C, STRASSER A.** 2002. Nutritional modes in coral-microbialite reefs (Jurassic, Oxfordian, Switzerland): Evolution of trophic structure as a response to environmental change. Palaios, 17: 449-471.
- **DURAND-DELGA M.** 1957. Quelques remarques sur les fibrosphères. Publications du Service de la carte géologique de l'Algérie (Nouvelle Série). Bulletin, Travaux des Collaborateurs 1956, 13 (1957): 153–164.
- **DURLET C.** 1996. Apport de la diagenèse des discontinuités à l'interprétation paléo-environnementale et séquentielle d'une plate-forme carbonatée. Exemple des «calcaires à entroques» du Seuil de Bourgogne (Aalénien - Bajocien), Thèse, Université de Bourgogne - Centre des sciences de la Terre. Inédit.
- **DURLET C.** 2001a. Les «calcaires a entroques» du sud-est du bassin de Paris; une formation complexe issue d'une histoire en trois actes. Bulletin d'information des géologues du bassin de Paris, 38 (3): 9-20.
- **DURLET C.** 2001b. Itinéraire de découverte des récifs du «Bout du Monde» (pinacles bajociens de la région de Nolay, Côte d'Or). Bulletin d'information des géologues du bassin de Paris, 38 (3): 35-39.
- **DURLET C, THIERRY J.** 2000. Modalités séquentielles de la transgression aaléno-bajocienne sur le sud-est du Bassin parisien. Bulletin de la société géologique de France, 171 (3): 327-339.
- **DURLET C, PIANA M.** 2001. Les récifs bajociens du «Bout du Monde»; un exemple de plate-forme semi profonde parsemée de pinacles coralliens. Bulletin d'information des géologues du bassin de Paris, 38 (3): 21-34.
- **DURLET C, JACQUIN T, FLOQUET M.** 1997. Tectonique synsédimentaire distensive dans les calcaires aaléno-bajociens du seuil de Bourgogne (France). Comptes rendus de l'académie des sciences, série II, science de la terre et des planètes, 324 (12): 1001-1008.
- **DURLET C, LATHULIERE B, AYCARD M.** 2001. Géométrie et faciès des récifs bajociens du haut-fond bourguignon (France): implications paléo-environnementales et séquentielles. Eclogae Geologicae Helvetiae, 94: 1-11.
- **EICHER DL, DINER R.** 1989. Biological paleoceanography; plankton, productivity and carbon in ancient marine systems, a selection of papers presented at the fourth North American paleontological convention. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 74 (1-2): 146.
- **EICHER DL, DINER R.** 1991. Environmental factors controlling Cretaceous limestone-marlstone rhythms. In: Einsele G, Ricken W, Seilacher A.(eds.), Cycles and events in stratigraphy, pp 79-93.
- **ELMI S.** 1984. Jurassique moyen: Dogger. In Debrand-Passard, S., Courbouleix, S. et Lienhardt, M.-J., Synthèse géologique du Sud-est de la France. Stratigraphie et Paléogéographie, Mémoires du BRGM, 125: 178-220.
- **FARINACCI A, ELMI S.** 1981. Rosso Ammonitico Symposium 1980. 602pp. Roma (Tecnoscienza).
- **FERRY S, MANGOLD C.** 1995. Faciès de dépôt et stratigraphie séquentielle des calcaires bajociens du Jura méridional. Documents du laboratoire de géologie de Lyon, 133: 1-96.
- **FLOQUET M, LAURIN B, LAVILLE P, MARCHAND D, MENOT JC, PASCAL A, THIERRY J.** 1989. Les Systèmes sédimentaires bourguignons d'âge Bathonien terminal - Callovien. Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine, 13 (1): 133-165.
- **FÖLLMI KB, BODIN S, GODET A, LINDER P, VAN DE SCHOOTBRUGGE B.** 2007. Unlocking paleo-environmental information from Early Cretaceous shelf sediments in the Helvetic Alps: stratigraphy is the key! Swiss journal of geosciences, 100: 349-369.

- FÖLLMI KB, WEISSERT H, BISPING M, FUNK H. 1994. Phosphogenesis, carbon-isotope stratigraphy, and carbonate-platform evolution along the Lower Cretaceous Northern Tethyan margin. *Geological society of America bulletin*, 106: 729-746.
- GIBBS MT, BLUTH, GJS, FAWCETT PJ, KUMP LR. 1999. Global chemical erosion over the last 250 my; variations due to changes in paleogeography, paleoclimate, and paleogeology. *American journal of science*, 299 (7-9): 611-651.
- GIGNOUX M. 1936. Géologie stratigraphique. 2^e édition entièrement refondue, Edition Masson et Cie.
- GONZALEZ R. 1993. Die Hauptrogenstein-Formation der Nordschweiz (mittleres Bajocien bis unteres Bathonien), PhD-thesis, Geologisch - Paläontologisches Institut der Universität Basel. Inédit.
- GONZALEZ R. 1996. Response of shallow-marine carbonate facies to third-order and high-frequency sea-level fluctuations; Hauptrogenstein Formation, northern Switzerland. *Sedimentary Geology*, 102 (1-2), 111-130.
- GONZALEZ R, WETZEL A. 1996. Stratigraphy and paleogeography of the Hauptrogenstein and Klingnau Formations (middle Bajocian to late Bathonian), northern Switzerland. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 89 (2): 695-720.
- HAAK AB, SCHLAGER W. 1989. Compositional variations in calciturbidites due to sea-level fluctuations, late Quaternary, Bahamas. *Geologische Rundschau*, 78 (2): 477-486.
- HALFAR J, GODINEZ-ORTA L, MUTTI M, VALDEZ-HOLGUIN JE, BORGES JM. 2004. Nutrient and temperature controls on modern carbonate production: An example from the Gulf of California, Mexico. *Geology*, 32 (3): 213-216.
- HALLOCK P, SCHLAGER W. 1986. Nutrient excess and the demise of coral reefs and carbonate platforms. *Palaios*, 1 (4): 389-398.
- HARDENBOL J, THIERRY J, FARLEY MB, JACQUIN T, DE GRACIANSKY PC, VAIL PR. 1998. Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European basins. In: De Graciansky PC, Hardenbol J, Jacquin T, Farley A, Vail PR (eds.), *Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European basins*. Special Publication – Society for Sedimentary Geology, 60: 3-13.
- HENNIG-FISHER S. 2003. Geochemical and sedimentological evidence for environmental changes in the Valanginian (early Cretaceous) of the Tethys region, Thèse n°15106, Swiss federal institute of technology, Zürich. Inédit.
- HESSELBO SP, MORGANS-BELL HS, McELWAIN JC, REES PM, ROBINSON SA, ROSS E. 2003. Carbon-cycle perturbation in the Middle Jurassic and accompanying changes in the terrestrial paleoenvironment. *The Journal of Geology*, 111: 259-276.
- INSALACO E. 1996. Upper Jurassic microsolenid biostromes of northern and central Europe: Facies and depositional environment. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 121: 169-194.
- JACQUIN T, MORESTIN B, THIERRY J. 1985. Découverte et caractérisation paléontologique et sédimentologique de l'Aalénien supérieur et du Bajocien inférieur dans le Centre Nord de la Côte d'Or. *Bulletin Scientifique de Bourgogne*, 38: 1-10.
- JACQUIN T, DARDEAU G, DURLET C, GRACIANSKY PC, HANTZBERGUE P. 1998. The North sea cycle – An overview of transgressive-regressive facies cycles in western Europe. In: Graciansky PC, Hardenbol J, Jacquin T, Farley A, Vail PR (eds.), *Mesozoic and Cenozoic sequence stratigraphy of European basins*. Society of economic paleontology and mineralogy. Special Publication, 60: 445-466.
- JAMES NP. 1997. The cool-water carbonate depositional realm. In: James, N.P., Clarke, J.A.D. (Eds.), *Cool water carbonates*. Society for Sedimentary Geology, 56: 1-22.
- KEUPP H, BRUGGER H, GALLING U, HEFTER J, HERRMANN R, JENISH A, KEMPE S, WALTER M, SEIFERT R, THIEL V. 1996. Paleobiological controls of Jurassic spongiolites. In: Reitner et al., (eds., 1996): *Global and regional controls on biogenic sedimentation. I. Reef evolution*. Research Reports. – Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie, 2: 209-214.
- KIESSLING W, FLÜGEL E, GOLANKA J. 2002. Phanerozoic reef patterns. Society of economic paleontology and mineralogy. Special Publication, 72.
- LATHUILLIÈRE B. 1981. Paléocéologie des calcaires à polypiers et faciès associés au Bajocien dans le Jura du sud. Thèse Université Claude-Bernard - Lyon I. Inédit.
- LATHUILLIÈRE B. 1982. Bioconstructions bajociennes a madréporaires et faciès associés dans l'île Crémieu (Jura du Sud) France. *Geobios*, 15 (4): 491-504
- LATHUILLIÈRE B. 1984. La plasticité du genre *Kobyastrea* (Hexacorallia); un bon marqueur paléocéologique. *Geobios*, 17 (3): 371-375.
- LATHUILLIÈRE B. 1988. Analyse de populations d'Isastrées bajociennes (scléractiniaires jurassiques de France); conséquences taxonomiques stratigraphiques et paléocéologiques. *Geobios*, 21 (3): 269-305.
- LATHUILLIÈRE B. 1990. Periseris, scléractinaire colonial jurassique, révision structurale et taxonomie de populations bajociennes de l'Est de la France. *Geobios*, 23 (1): 33-55.
- LATHUILLIÈRE B. 1996. Itinéraires astogéniques chez des coraux simples et coloniaux montlivaltiides du Bajocien de France. *Geobios*, 29 (5): 577-603.
- LATHUILLIÈRE B. 1996. Is morphology a good way to understand the evolution of corals?, In: Stanley George, D., Jr., ed., *Paleobiology and biology of corals*. The Paleontological Society Papers, 1: 81-105.
- LATHUILLIÈRE B. 1999. Environnements coralliens du Bajocien inférieur de France; que disent les coraux? 7^e congrès français de sédimentologie, résumés. Association des sédimentologues français, 33: 207
- LATHUILLIÈRE B. 2000a. Coraux constructeurs du Bajocien inférieur de France; 1^{re} partie. *Geobios*, 33 (1): 51-72.
- LATHUILLIÈRE B. 2000b. Coraux constructeurs du Bajocien inférieur de France; 2^e partie. *Geobios*, 33 (2): 153-181.
- LATHUILLIÈRE B, GILL GA. 1998. *Dendראהa* corail scléractinaire branchu jurassique; structure, systématique, écologie. *Dendראהa, a Jurassic branching scleractinian coral; structure, systematics and ecology*. *Paleontographica*, 248 (3-6): 145-162.
- LAVILLE P, CUSSEY R, DURAND J, FLOQUET M. 1989. Faciès, structure et dynamique de mise en place de dunes oobioclastiques au Callovien inférieur en Bourgogne. *Bulletin des centres de recherche exploration-production Elf – Aquitaine*, 13 (2): 379-393.

- **LEES A, BULLER AT.** 1972. Modern temperate water and warm water shelf carbonate sediments contrasted. *Marine Geology*, 13: 1,767-1,773.
- **LEINFELDER RR, KRAUTTER M, LATERNER R, NOSE M, SCHMID DU, SCHWEIGERT G, WERNER W, KEUPP H, BRUGGER H, HERRMANN R, REHFELD KU, SCHROEDER JH, REINHOLD C, KOCH R, ZEISS A, SCHWEIZER V, CHRISTMANN H, MENGES G, LUTERBACHER H.** 1994. The origin of Jurassic reefs; current research developments and results. *Facies*, 31: 1-56.
- **LEINFELDER RR, WERNER W, NOSE M, SCHMID DU, KRAUTTER M, LATERNER R, TAKACS M, HARTMANN D.** 1996. In: Reitner et al. (eds.), Global and regional controls on biogenic sedimentation. I. Reef Evolution. Research Reports. – Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie, Sb2: 227-248.
- **LEMOINE M, BAS T, ARNAUD-VANNEAU A, ARNAUD H, DUMONT T, GIDON M, BOURBON M, GRACIANCKY PC, RUDKIEWICK JL, MEGARD-GALLI J, TRICART P.** 1986. The continental margin of the Mesozoic Tethys in the western Alps. *Marine and Petroleum Geology*, 3: 179-199.
- **LEMOINE M, DARDEAU G, DELPECH PY, DUMONT T, GRACIANCKY PC, GRAHAM R, JOLIVEI L, ROBERTS D, TRICART P.** 1989. Extension synrift et failles transformantes jurassiques dans les Alpes Occidentales. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 309, Série 2, 114: 1711-1716.
- **LOUP B.** 1993. Etude géologique du Crêt de Chalam et de la combe des Magras (Ain, France). Diplôme département de Géologie et Paléontologie, Université de Genève. Inédit.
- **MARTIRE L.** 1989. Analisi biostratigrafica e sedimentologica del rosso ammonitico veronese dell'altopiano di Asiago (VI) / Luca Martire. Genova, Università di Torino.
- **MC LAUGHLIN CJ, SMITH CA, BUDDEMEIER RW, BARTLEY JD, MAXWELL BA.** 2005. Reply to the comments of Macdonald et al. on «Rivers, runoff and reefs» [*Global and Planetary Change* 39 (2003) 191–199]. *Global and Planetary Change*, 45: 339–341.
- **MALLINSON DJ, HINE AC, LOCKER SD.** 1996. Paleocirculation and paleoclimatic implications of the Florida Middle Ground reefs. Geological society of America, 28th annual meeting. Abstracts with programs – Geological society of America, 28 (7): 118.
- **MANGOLD C.** 1970. Stratigraphie des étages Bathonien et Callovien du Jura méridional. Documents du laboratoire de géologie de la faculté des sciences de Lyon, 41 (1).
- **MANGOLD C.** 1984. Bajocien du Jura méridional. In: Debrand-Passard et al. (coord.), Synthèse géologique du SE de la France. Mémoires du BRGM, 125: 193-194.
- **MANGOLD C, POIROT E, LATHULIÈRE B, LE ROUX J.** 1994. Biochronologie du Bajocien supérieur et du Bathonien de Lorraine (France). *Geobios, Mémoire Spécial*, 17: 343-349.
- **MANGOLD, C. ET GROUPE FRANÇAIS D'ÉTUDE DU JURASSIQUE.** 1997. Synthèses biochronologiques; le Jurassique moyen. In: Cariou E. et Hantzpergue P. (eds.) Biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen; zonations parallèles et distribution des invertébrés et microfossiles. Bulletin des Centres de Recherche Exploration Production Elf-Aquitaine, Mémoire 17: 355-361
- **METZGER J.** 1988. Les «Calcaires à entroques» du Bajocien de Champfromier (Ain, France): sédimentologie, paléontologie et pétrographie. Diplôme département de Géologie et Paléontologie, Université de Genève. Inédit.
- **MERKI P.** 1961. Der Obere Muschelkalk im östlichen Schweizer Jura. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 54 (1): 137-220.
- **MEYER CA.** 1988. Palökologie, biofazies und sedimentologie von seelliengemeinschaften aus dem Unteren Hauptrogenstein des Nordschweizer Jura. *Revue de Paleobiologie*, 7 (2): 359-433.
- **MEYER CA.** 1989. Palaeoökologie und Sedimentologie von Seelliengemeinschaften aus dem Unteren Hauptrogenstein des Nordwestschweizer Jura. Bulletin der Vereinigung Schweizerischen Petroleum-Geologen und -Ingenieure, 55 (128): 1-11.
- **MEYER M.** 1996. Géologie du diapir de Champfromier et stratigraphie du Lias (Ain, France), Diplôme, Université de Genève. Inédit.
- **MEYER M.** 2000. Le Complexe récifal kimméridgien - tithonien du Jura méridional interne (France), évolution multifactorielle, stratigraphique et tectonique. *Terre et Environnement*, 24, Université de Genève, Section des Sciences de la Terre.
- **MIDDLEMISS FA.** 1989. The distribution of Terebratulidae in the Hauterivian of the Jura region. Mémoires de la société neuchâteloise de sciences naturelles, XI: 183-186.
- **MIDDLETON GV.** 1973. Johannes Walter's law of the correlation of facies. *Bulletin of the Geological Society of America*, 84: 979–988.
- **MORESTIN B.** 1986. Sédimentation et diagenèse dans les «Calcaires à entroques» de Bourgogne (Aalénien-Bajocien). Thèse 3ème cycle, Université de Bourgogne. Inédit.
- **MURRAY JW.** 1991. Ecology and palaeoecology of benthic foraminifera, Essex, United Kingdom. John Wiley et Sons, Longman Sci. et Tech., NY United States.
- **NEUMEIER U.** 1998. Tidal dunes and sand waves in deep outer-shelf environments, Bajocian, SE Jura, France. *Journal of Sedimentary Research*, 68 (3): 507-514.
- **OLIVIER N, PITTET B, MATTIOLI E.** 2004. Palaeoenvironmental control on sponge-microbialite reefs and contemporaneous deep-shelf marl-limestone deposition (late Oxfordian, southern Germany). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 212 (3-4): 233-263.
- **PAIRIS B.** 1975. Contribution à l'étude stratigraphique tectonique et métamorphique du massif de Platé (Haute-Savoie). Thèse 3ème Cycle, Grenoble. Inédit.
- **PAZDROWA O.** 1972. Remarks on the genera *Ophthalmidium* and *Palaeomiliolina* (Foraminifera). *Acta palaeontologica Polonica*, XVIII/4: 527-560.
- **PICARD S.** 2001. Evolution des eaux téthysiennes (température, bathymétrie) au cours du Jurassique moyen à supérieur, Thèse d'Université, Ecole Normale Supérieure de Lyon. Inédit.
- **PICARD S, GARCIA JP, LECUYER C, SHEPPARD SMF, CAPPETTA H, EMIG CC.** 1998. delta (super 18) O values of coexisting brachiopods and fish; temperature differences and estimates of paleo-water depths. *Geology*, 26 (11): 975-978.

- **PIUZ A.** 2004. Micropaléontologie d'une plate-forme bioclastique échinodermique: Les calcaires à entroques du Bajocien du Jura méridional et de Bourgogne. *Terre et Environnement* 49. (Disponible online: <http://www.unige.ch/cyberdocuments/theses2004/PiuzA/these.pdf>)
- **PIUZ A.** 2006. The bajocian biomicrofacies from the burgundy high to the subalpine basin. Abstract, 4th Swiss Geoscience Meeting, Bern 2006.
- **PIUZ A.** 2007. The bajocian crinoidal vs coral limestone: Paleoenvironmental implications. Abstract, 5th Swiss Geoscience Meeting, Geneva 2007.
- **RAMPINO MR, STOTHERS RB** 1988. Flood basalt volcanism during the past 250 million years. *Science*, 241 (4866): 663-668.
- **RAT P.** 1966. *Nubecularia reicheli* n. sp., foraminifère constructeur de fausses oolites dans le bajocien de Bourgogne. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 59 (1): 73-85.
- **RAT P, AMIOT M.** 1979. Dispositifs sédimentaires crinoïdiques dans le «Calcaire à entroques» de Bourgogne (Bajocien moyen). A.S.F. Publication spéciale symposium sédimentation jurassique ouest européen, 1: 85- 97.
- **RAT P, DAULIN JL.** 1970. Courants d'étalement du matériel bioclastique dans le Bajocien de Bourgogne. *Comptes rendus sommaires des Séances de la Société géologique de France*, 2: 62-64.
- **RAUSIK B, DEMENY A, BORBELY KI, SZABO G.** 2000. Monsoon-like climate during Bajocian; clay mineralogical and geochemical study on a limestone/ marl alternation. *Acta Geologica Hungarica, Acta Mineralogica Petrographica (Szeged)*, 42 (4): 379-400.
- **RAUSIK B, SZABO G, BORBELY KI.** 1998. Geochemical study on a limestone/ marlstone alternation, Bajocian, Mecsek Mountains, southern Transdanubia, Hungary. *Acta Mineralogica Petrographica (Szeged)*, 39: 107-138.
- **RAUSIK B, SZABO G, BORBELY KI.** 1999. Clay mineralogy of the Komlo calcareous marl formation, Bajocian, Mecsek Mountains, Hungary. Geochemical study on a limestone/ marlstone alternation, Bajocian, Mecsek Mountains, Southern Transdanubia, Hungary. *Acta Geologica Hungarica*, 42 (4): 379-400.
- **ROBIN C, GUILLOCHEAU F, GAULIER JM.** 1996. Mesure des signaux eustatiques et tectoniques au sein de l'enregistrement sédimentaire d'un bassin intracratonique. Application au Lias du Bassin de Paris. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 322, Série IIa: 1079-1086.
- **ROSSET J.** 1956. Description géologique de la chaîne des Aravis entre Cluses et le col des Aravis (Haute-Savoie), Thèse d'Etat Grenoble. *Bulletin du Service de la Carte Géologique de France* 247 (3): 341-487.
- **ROUSSELLE B.** 1997. Partition stratigraphique des faciès et des volumes de dépôt en domaine de plate-forme carbonatée: exemple dans l'Aalénien du Sud-Est de la France. Thèse Université Claude Bernard, Lyon. Inédit.
- **ROUX M.** 1978. Ontogénèse, variabilité et évolution morphofonctionnelle du pédoncule et du calice chez les Millericrinida (Echinodermes, Crinoïdes). *Geobios*, 11 (2): 213-241.
- **ROUX M.** 1982. De la biogéographie historique des océans aux reconstitutions paléobiogéographiques: tendances et problèmes illustrés par des exemples pris chez les Echinodermes bathyaux et abyssaux. *Bulletin de la Société géologique de France*, 7, XXIV (5-6): 907-916.
- **ROUX M, BOURSEAU JP, BAS T, DUMONT T, GRACIANSKY PC, LEMOINE M, RUDKIEWICZ JL.** 1988. Bathymetric evolution of the Tethyan margin in the western Alps (data from stalked crinoids): a reappraisal of eustatism problems during the Jurassic. *Bulletin de la Société géologique de France*, 8 (4): 633-641.
- **SANTON RJ.** 2006. Nutrient models for the development and location of ancient reefs. *Geo.Alp* 3, 191-206.
- **SEPTFONTAINE M.** 1981. Les foraminifères imperforés des milieux de plate-forme au Mésozoïque: Détermination pratique, interprétation phylogénétique et utilisation biostratigraphique. *Revue de Micropaléontologie*, 23 (3-4): 169-203.
- **TERMIER G, TERMIER H, RAMALHO M.** 1985. Spongiofaunes du Jurassique supérieur du Portugal. *Comunicações Serviços Geológicos Portugal*, 71 (2): 197-222.
- **THIRY-BASTIEN P.** 2002. Stratigraphie séquentielle des calcaires bajociens de l'Est de la France (Jura - Bassin de Paris). Thèse Université Claude Bernard - Lyon 1. Inédit.
- **THIERRY J, CARIOU E, DUBOIS P, FILY G, GABILLY J, LAURIN B, LE ROUX J, LORENZ J, RIOULT M, YAPAUDJIAN L.** (1980). Jurassique moyen. In: Synthèse géologique du Bassin de Paris. Mégnien C. & Mégnien F. (eds.), *Mémoires du. B.R.G.M.*, 101: 219-248.
- **TYSZKA J.** 1992. Palaeoenvironment of basinal Middle Jurassic carbonates, Pieniny Klippen Belt, Carpathians. *Bulletin of the Polish Academy of Science, Earth Science*, 39 (3): 232-251.
- **TYSZKA J.** 1994a. Paleoenvironmental implications from ichnological and microfaunal analyses of Bajocian spotty carbonates, Pieniny Klippen Belt, Polish Carpathians. *Palaios*, 9 (2): 175-187.
- **TYSZKA J.** 1994b. Response of Middle Jurassic benthic foraminiferal morphogroups to dysoxic / anoxic conditions in the Pieniny Klippen Basin, Polish Carpathians. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 110 (1-2): 55-81.
- **TYSZKA J.** 1997. *Miliammina gerochi* n. sp.; a middle Jurassic rzhakinid (Foraminiferida) from quasi-anaerobic biofacies. *Annales Societatis Geologorum Poloniae*, 67 (2-3): 355-364.
- **TYSZKA J, KAMINSKI MA.** 1995. Factors controlling the distribution of agglutinated Foraminifera in Aalenian-Bajocian dysoxic facies (Pieniny Klippen Belt, Poland). In: Kaminski M., et al., eds., *Proceedings of the fourth international workshop on agglutinated foraminifera*. Grzybowski foundation Special Publication, 3: 271-291.
- **VAIL PR, AUDEMARD F, BOWMAN SA, EISNER PN, PEREZ CG.** 1991. The stratigraphic signatures of tectonics, eustasy and sedimentology; an overview. In: Einsele G, Ricken W, Seilacher A. (eds.) *Cycles and events in stratigraphy*, pp. 617-659.
- **VAN DER ZWAAN G J, DUJNSTEE IAP, DEN DM, ERNST SR, JANNINK NT, KOUWENHOVEN TJ.** 1999. Benthic foraminifers; proxies or problems? A review of paleoecological concepts. *Earth-Science Review*, 46 (1-4): 213-236.

- **VAN DE SCHOOTBRUGGE B, FÖLLMI KB, BULOT LG, BURNS SJ.** 2000 Paleocceanographic changes during the early Cretaceous (Valanginian-Hauterivian): evidence from oxygen and carbon stable isotopes. *Earth and Planetary Science Letters*, 181: 15-31.
- **WALTHER J.** 1894. Einleitung in die geologie als historische wissenschaft.- Lithogenesis der Gegenwart. Jena (Fischer), 3: 535-1055.
- **WANNER J.** 1940. Gesteinbildende foraminiferen aus Malm und unterkreide des östlichen ostindischen archipels. *Paläontologische Zeitschrift*, 22 (2): 75-99.
- **WERNLI R.** 1970a. Etude micropaléontologique du Dogger du Jura méridional (France), Thèse Univ. Genève, pro parte inédit (description systématique des foraminifères in Wernli, 1971).
- **WERNLI R.** 1970b. *Archaeosepta platierensis* Wernli, n. gen., n. sp., un nouveau foraminifère du Dogger du Jura méridional. *Archives des Sciences Physiques et Naturelles*, 5 (23): 87-93.
- **WERNLI R.** 1971. Les foraminifères du Dogger du Jura méridional (France). *Archives des Sciences*, 24, (2): 305-356.
- **WERNLI R.** 1972. Les *Vidalina* du Trias et du Jurassique sont-elles des *Ophthalmidium* (Foraminifères)? *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 83 (1): 163-175.
- **WERNLI R, GOROG A.** 2007. Protoglobigerines et Oberhauserellidae (foraminifères) du Bajocian-Bathonien du Jura meridional, France. *Revue de Micropaléontologie*, 50 (2): 185-205.
- **WERNLI R, METZGER J.** 1990. *Callorbis minor*, n.g., n.s.p.; un nouveau foraminifère des calcaires échinodermiques du Bajocien du Jura (France). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 83 (1): 163-175.
- **WERNLI R, SEPTFONTAINE M.** 1971. Micropaléontologie comparée du Dogger du Jura méridional (France) et des Préalpes Médiannes Plastiques romandes (Suisse). *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 64 (3): 437-458.
- **ZIEGLER PA.** 1988. Evolution of the Arctic-North-Atlantic and the western Tethys. *AAPG Memoir*, 43, Tulsa, OK, United States, American Association of Petroleum Geologists.