Zeitschrift: Archives des sciences [2004-ff.]

Herausgeber: Société de Physique et d'histoire Naturelle de Genève

Band: 59 (2006)

Heft: 1

Artikel: Paléokarst, crocodiles nains et micropaléontologie du Valanginien d'Arzier (Jura suisse)

Autor: Mojon, Pierre-Olivier

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-738313

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 05.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Paléokarst, crocodiles nains et micropaléontologie du Valanginien d'Arzier (Jura suisse)

Pierre-Olivier MOJON[1]

Ms. reçu le 15.8.2005, accepté le 22.2.2006

Abstract

Paleokarst, dwarf Crocodiles and micropaleontology of the Valanginian from Arzier (Swiss Jura Mountains) – *A karstic infilling in the marine Early Cretaceous (Berriasian-Valanginian) from the western Swiss Jura Mountains (Violette quarry near the locality of Arzier) has yielded a brackish to freshwater malacofauna (Neomiodon, Provalvata, Maillardinus and Cyclophoroidea opercula, Proauriculastra, Pyrgulifera and Proauricula spp.) as well as numerous teeth of dwarf amphibious and heterodont Crocodiles (Bernissartia, Theriosuchus and Goniopholis). Such a malacofauna and these dwarf Crocodiles are well known in shallow coastal or swampy paleoenvironments since the Upper Jurassic (Kimmeridgian) to the non-marine Lower Cretaceous in Europe (Purbeckian and Wealdian facies) and North America. Thus, the paleokarst and these new micropaleontological data are related to an important emersive event in the Early Cretaceous of the Jura Mountains. Besides, marine Ostracods (assemblage M6a of Mojon 2002) and benthic Foraminifers (Eclusia moutyi) allow to underline the whole Valanginian in the studied section including the paleokarst and its "Wealdian" infilling.*

Keywords: *paleokarst, dwarf Crocodiles, micropaleontology, Lower Cretaceous, Jura Mountains, Switzerland*

Résumé

Un remplissage karstique dans le Crétacé basal marin (Berriasien-Valanginien) du Jura suisse occidental (carrière de la Violette près de la localité d'Arzier) a livré une malacofaune d'eau douce à saumâtre (Neomiodon, Provalvata, Maillardinus et opercules de Cyclophoroidea, Proauriculastra, Pyrgulifera et Proauricula spp.) ainsi que de nombreuses dents de Crocodiles nains amphibies et hétérodontes (Bernissartia, Theriosuchus et Goniopholis). Une telle malacofaune et ces Crocodiles nains sont bien connus dans des paléoenvironnements côtiers peu profonds ou marécageux du Jurassique supérieur (Kimméridgien) au Crétacé inférieur non-marin en Europe (faciès purbeckiens et wealdiens) et en Amérique du Nord. Ainsi, le paléokarst et ces nouvelles données micropaléontologiques se rapportent à un important événement émersif dans le Crétacé basal du Jura. De plus, des Ostracodes marins (assemblage M6a de Mojon 2002) et des Foraminifères benthiques (Eclusia moutyi) permettent de mettre en évidence l'intégralité du Valanginien inférieur dans la coupe étudiée comprenant le paléokarst et son remplissage «wealdien».

Mots-clés: paléokarst, Crocodiles nains, micropaléontologie, Crétacé inférieur, Jura, Suisse

Introduction

Le site étudié (Fig. 1) est d'un grand intérêt historique et géologique en représentant la localité-type des Marnes d'Arzier (Jaccard 1869), qui caractérisent le Valanginien inférieur du Jura franco-suisse. À cet endroit (carrière de la Violette, coordonnées 504.100/145.800 de la carte nationale de la Suisse), un remplissage karstique découvert par Carozzi (1948, p. 25-26) et mentionné dans la notice explicative de la feuille géologique Nyon (p. 21 et 31, Arn et al. 2005) est en relation avec la surface d'émersion du toit de la Formation de la Chambotte inférieure (Planche I, C-D). L'étude conjointe des Marnes d'Arzier sus-jacentes et de ce remplissage caractérisé notamment par une malacofaune et des dents de Crocodiles nains du Crétacé inférieur non-marin permet de l'attribuer au Valanginien basal.

Lithologie et paléontologie

La série berriaso-valanginienne du Crétacé inférieur basal de la région d'Arzier est tout à fait comparable à celle du Jura français méridional, avec successivement la Formation de Vions, la Formation de la

[1] *Rue de l'Industrie 11, CH-2316 Les Ponts-de-Martel, Suisse.*

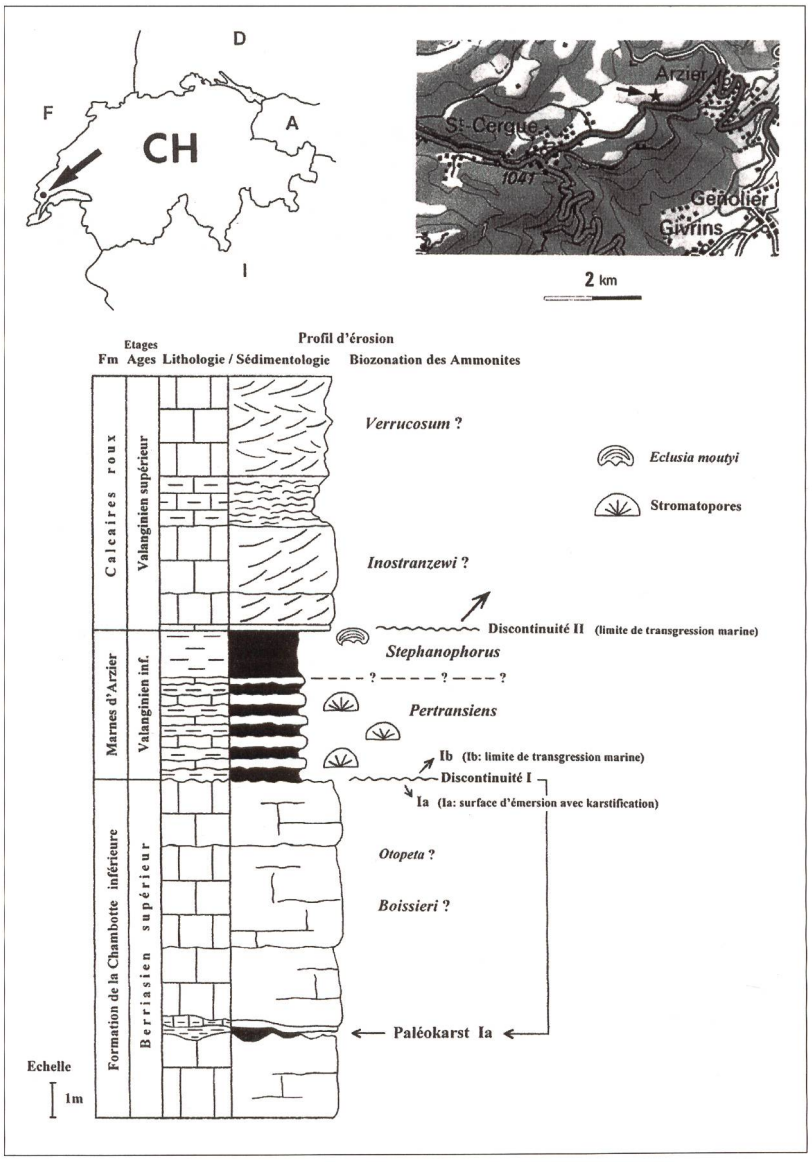


Fig. 1. Localisation et coupe de la carrière de la Violette, Arzier, Jura suisse occidental (plan de détail d'après la carte nationale de la Suisse au 1: 50 000, modifiée).

faille plurimétriques s'étendant latéralement sur plus de 50 m. Une série sédimentaire mesurant plus de 20 m est visible dans la carrière (Fig. 1), où les Marnes d'Arzier constituent un célèbre gisement fossilifère caractérisé par une riche faune d'Invertébrés marins (Mouty 1966). Parmi ceux-ci sont particulièrement abondants les Stromatopores (Schnorf 1932, 1960a-b-c; Schnorf-Steiner 1963b) ainsi que les Brachiopodes tels que Térébratules et Rynchonelles (Gaspard 1989), bien que soient également présents de nombreux Mollusques (Lamellibranches Pectinidés et Ostréidés, Gastéropodes), Echinodermes (radioles et débris de tests d'Oursins, articles de Crinoïdes et d'Ophiures), Coraux (Chaetetidés), Spongiaires, Bryozoaires et Serpules. Plus précisément, les organismes coloniaux (Coelentérés) forment de petits récifs décimétriques de Madréporaires (Cnidaires) appartenant essentiellement à des Hydrozoaires (Stromatopores) ainsi qu'à quelques Coraux vrais et Chaetetidés apparentés (Schnorf-Steiner 1963a). Ces bioconstructions ont permis le développement de véritables oasis de vie en servant de support et d'abris à une biocénose très diversifiée. La microfaune composée de Foraminifères benthiques et d'Ostracodes également bien représentée, a été révisée et complétée dans le cadre de cette étude. De même, une

Chambotte inférieure, les Marnes d'Arzier et les Calcaires roux. Au SE de la carrière de la Violette, les couches laguno-marines de la Formation de Vions épaisse d'environ 10 m affleurent sur quelques centaines de mètres le long de la route venant d'Arzier. Des niveaux marneux dans les deux premiers mètres de la Formation de Vions ont livré des Ostracodes caractéristiques du Berriasien supérieur: *Valendocythere divisa* (milieu marin) et *Macrodentina (Dictyocythere) mediostricta mediostricta* (milieu lagunaire saumâtre).

Au-dessus, la partie droite de la carrière de la Violette présente plusieurs décrochements successifs essentiellement parallèles mais aussi perpendiculaires au front de taille, qui écaillent la barre calcaire massive de la Chambotte inférieure avec de grands miroirs de

Planche I

Carrière de la Violette (Arzier, Jura suisse occidental).

A: vue des Marnes d'Arzier et des Calcaires roux (Valanginien inf. et sup.), * indique la position d'*Eclusia moutyi* et le marteau (31,5 cm) donne l'échelle.

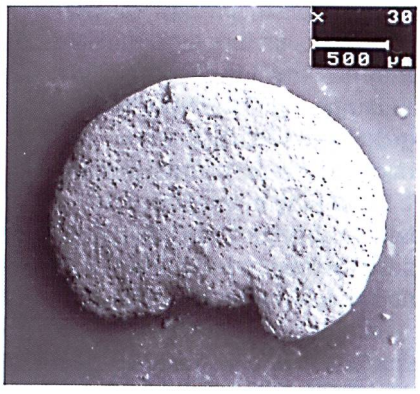
B: vue latérale d'un test discoïde et réniforme d'*Eclusia moutyi* (Foraminifère benthique), spécimen en forme dégagée de grande taille et microsphérique provenant de la partie sommitale des Marnes d'Arzier de la Violette (Zone à *Stephanophorus*, Valanginien inférieur). MHNG 60472.

C: vue des calcaires massifs tectonisés de la Chambotte inférieure (Berriasien sup.-Valanginien inf., Crétacé inférieur basal). La vire correspondant au remplissage karstique de type wealdien est indiquée à gauche (flèche et *).

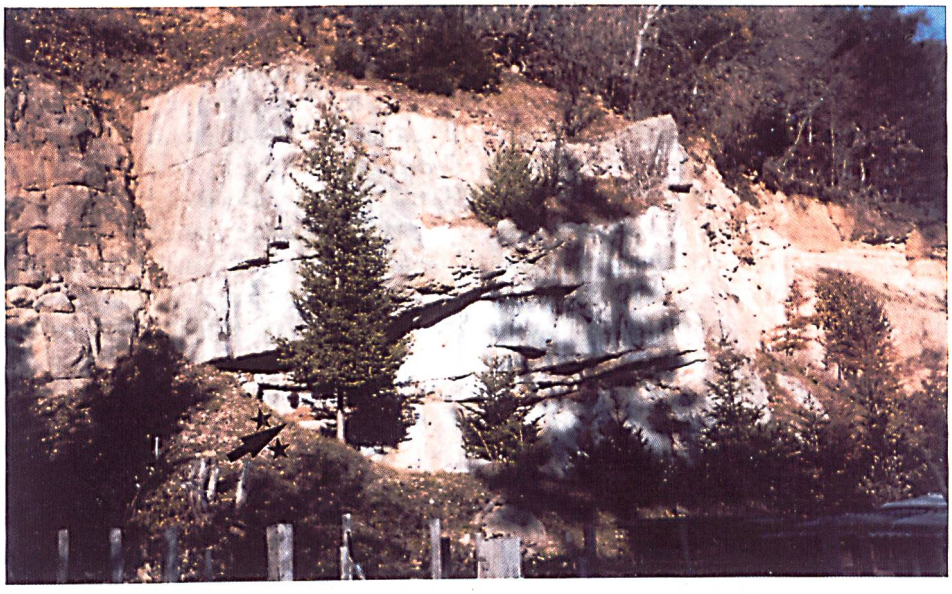
D: vue de détail du remplissage karstique rubéfié de type wealdien (1. Marne rubéfiée. 2. Marno-calcaire oolithique jaunâtre). Le marteau (31,5 cm) donne l'échelle.

Planche I

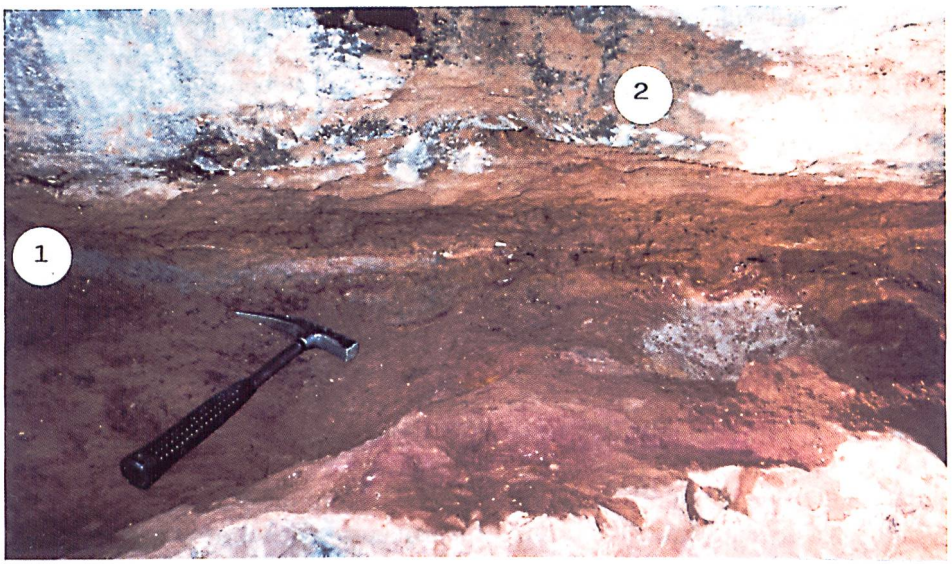
A



B



C



D

microflore très variée de Dinokystes a été mise en évidence dans les Marnes d'Arzier de la Violette par E. Monteil (p. 15 à 17 *in* Charollais et al. 1995).

La coupe de la carrière de la Violette a déjà fait l'objet de nombreux travaux (Carozzi 1948; Schnorf-Steiner et Guillaume 1965; Mouty 1966; Charollais et al. 1995) dont les descriptions et mesures correspondent à celles de la présente étude. La partie inférieure de la coupe comprend des calcaires biodétritiques et oolithiques blanchâtres en gros bancs formant la barre massive de la Formation de la Chambotte inférieure. Ces calcaires clairs présentent dans leur partie inférieure une vire marno-calcaire correspondant au remplissage karstique mis en évidence par Carozzi (1948) sous la dénomination de «Sidérolithique d'âge berriasien». Les calcaires de la Chambotte inférieure («Marbre bâtard») sont caractérisés par des Foraminifères benthiques du passage Berriasien-Valanginien tels que notamment des Pfendérines de grande taille (*Pfenderina neocomiensis*), des Orbitolinidés primitifs (*Valdanchella* aff. *miliani* et *Cribellopsis* sp.), de grands Lituolidés (*Pseudocyclammina lituus*) ainsi que des Trocholines et des Milioles.

Au-dessus, les trois premiers mètres des Marnes d'Arzier (constituées en fait de marnes et de calcaires marneux) sont de couleur gris clair et présentent de nombreuses bioconstructions (Stromatopores), alors que la partie supérieure marneuse (1,4 m) est gris foncé (jaunâtre par altération) et nettement moins fossilifère au point de vue de la microfaune. Les Marnes d'Arzier de la Violette ont livré des microfossiles caractérisant le Valanginien inférieur, soit des Foraminifères benthiques tels que *Pfenderina neocomiensis* (grandes formes typiques), *Valdanchella* et *Cribellopsis* spp., *Eclusia moutyi*, *Pseudocyclammina lituus*, *Choffatella pyrenaica*, «*Ammobaculites*» sp., Nautiloculines, Lenticulines (Nodosaires) et plusieurs variétés de Trocholines (très abondantes et d'une grande variabilité de taille) ainsi que des Ostracodes marins de l'assemblage M6a (Mojon 2002) comme *Valendocythere helvetica*, *Valendocythere divisa*, *Neocythere flandrini*, *Asciocythere montis*, *Schuleridea praethoerenensis*, *Cytherella elongata*, *Bairdia major* et *Parexophthalmocythere berriasensis* (= *P. spinosa*, *in* Schnorf-Steiner et Guillaume 1965). Dans cet inventaire micropaléontologique (MHNG 60479-60480), il faut relever la présence remarquable d'*Eclusia moutyi* dans la partie somitale (30 derniers cm) des Marnes d'Arzier (Planche I, A-B). Bien que cependant plutôt rare à la Violette (seulement 4 spécimens récoltés pour 10 kg de sédiments traités), *E. moutyi* n'avait jusqu'à présent jamais été trouvée dans le Jura suisse malgré des recherches exhaustives (Septfontaine 1971).

Plus haut, le passage aux faciès biodétritique et oolithique des Calcaires roux limoniteux se fait par l'intermédiaire d'un petit banc de calcaire marneux et ferrugineux (20-30 cm) de couleur gris foncé à jaunâtre (par altération), qui présente des Stromatopores remaniés mais pas encore de rides de courant. Au-dessus, se développent sur plus de 7 m les bancs plus ou moins massifs et ferrugineux des Calcaires roux de couleur jaune roussâtre et à stratifications obliques ou entrecroisées (rides de courant ou «sand-waves» décimétriques mesurant entre 10 et 20 cm), avec deux bancs inférieurs massifs (2,8 m) à stratifications plutôt obliques, une partie médiane formant une vire marno-calcaire très friable (1,5 m) correspondant au «Complexe des Marnes et Calcaires roux» (Mouty 1966; Charollais et al. 1995) et une partie supérieure (3 m visibles *in situ*) constituée de petits bancs décimétriques entrecroisés et très délités correspondant à des rides de courants bimodaux (influence probable de marées).

Biostratigraphie

Les études très complètes des kystes de Dinoflagellés (Dinokystes) par E. Monteil (p. 15-17 et 50 *in* Charollais et al. 1995) ont montré que les Marnes d'Arzier de la carrière de la Violette se placent dans la Zone à *Pertransiens*, alors qu'au Fort de l'Ecluse (localité-type du Foraminifère *Eclusia moutyi*) situé 45 km au SW (Vuache, Jura français méridional) des dépôts marneux comparables sont un peu plus jeunes et se rapportent à la Zone à *Stephanophorus* (= *Campylotoxus*). Ces données biostratigraphiques sont complétées par celles des Marnes d'Arzier A et B de la série beaucoup plus complète de Ste-Croix (Mojon 2002) à 50 km au NE d'Arzier. Toutefois, la découverte d'*Eclusia moutyi* dans la partie sommitale des Marnes d'Arzier de la Violette permet d'y mettre aussi en évidence avec certitude la Zone à *Stephanophorus*. Selon les éléments de datation connus, la Chambotte inférieure se place donc au passage Berriasien-Valanginien entre le Berriasien terminal (Zone à *Boissieri*, sous-zone à *Otopeta*) et le Valanginien basal (Zone à *Pertransiens*), alors que les gros bancs de calcaire roux appartiennent déjà certainement au Valanginien supérieur basal comme à Ste-Croix (Zone à *Inostranzewi*). Ainsi, la série des Marnes d'Arzier n'est complète que dans le Jura central franco-suisse (Marnes d'Arzier A et B), alors que dans la partie la plus septentrionale du Jura français méridional (Fort de l'Ecluse et Vesancy à 30 km au SW d'Arzier) ne sont présentes que les Marnes d'Arzier B.

La datation de la base de la Formation de la Chambotte est en accord avec celle proposée par Clavel et al. (1986), par contre la datation de son sommet reste encore quelque peu imprécise (Fig. 1).

Les termes de biozonation des Ammonites suivis de « ? » sur la Fig. 1 indiquent que ces datations des formations mentionnées résultent de corrélations avec d'autres sites du Jura où ont été trouvées des Ammonites du Berriasien-Valanginien, aucun fossile de ce type n'ayant jamais été découvert à la Violette.

Interprétation paléoécologique

Série marine

1. Formation de la Chambotte inférieure.

Au point de vue paléoécologique, les calcaires massifs de la partie inférieure de la Formation de la Chambotte (= membre inférieur de cette formation) correspondent à un milieu de dépôt calme et envasé de lagon marin peu profond.

2. Marnes d'Arzier

(= membre moyen de la Formation de la Chambotte, le membre supérieur calcaire massif n'étant pas représenté à la Violette).

Avec les Marnes d'Arzier apparaissent des apports terrigènes d'origine continentale, de granulométrie très fine et constitués principalement d'argiles avec relativement peu de quartz détritique. En effet, les Marnes d'Arzier de la Violette sont peu siliciclastiques à la différence de celles de la partie septentrionale du Jura central plus proches des deltas fluviatiles boréaux à sédimentation de type wealdien.

L'abondance d'organismes filtreurs tels que les Lophophoriens (Brachiopodes et Bryozoaires) et les Spongiaires, ainsi que celle des petits récifs de Madréporaires (Stromatopores et Coraux) incrustés de Serpules et des Ostracodes à valves souvent séparées traduit un milieu marin profond de quelques mètres tout au plus et agité par des courants modérés brassant en continu une eau tempérée et peu turbide, riche en nutriments (plancton) et alimenté essentiellement à partir du sud (mer Mésogée). Dans les zones calmes (creux) entre les petits récifs, de telles conditions environnementales ont permis le développement d'une communauté variée d'Invertébrés (Schnorf-Steiner 1963b). Dans ce gisement, il n'y a pas la moindre trace apparente des émersions relevées plus au nord dans les Marnes d'Arzier du Jura central (Ostracodes lagunolacustres et paléosols à racines) et l'influence marine dominante ainsi que les apports terrigènes continentaux indiquent donc un milieu de dépôt particulier intermédiaire entre la mer ouverte et des lagunes margino-littorales, soit des chenaux de marée peu profonds d'orientation nord-sud (Mojon 2002).

Dans la partie supérieure des Marnes d'Arzier de la Violette, le remaniement et la disparition des organismes filtreurs et coloniaux ainsi que le polissage des tests des microfossiles et l'abondance des ooides traduisent une augmentation de la puissance des courants sous-marins. L'action abrasive et destructrice des eaux fortement agitées permet d'expliquer la relative rareté des carapaces plutôt fragiles des Ostracodes ainsi que la présence de nombreuses dents arrondies et très résistantes de Pycnodontes (Poissons durophages Téléostéens/Actinoptérygiens) concentrées là par les courants. À ce propos, les rares *Eclusia* mentionnées dans cette note (4 spécimens dont 2 microsphériques de grande taille et 2 mégalosphériques nettement plus petits) sont abîmées et micritisées par un long transport depuis la mer subalpine (Mésogée ou Téthys nord-occidentale) de la même manière que les Anchispirocyclines de la limite Jurassique/Crétacé du Jura (Mojon 2002). Un tel transport a été observé par l'auteur en Méditérranée lors des fortes marées (jusqu'à 3 m d'amplitude) du golfe de Gabès (Tunisie), où les grands tests discoïdes de Foraminifères actuels du genre *Sorites* sont amenés par flottaison depuis le large sur les plages et les estrans (Davaud et Septfontaine 1995). En effet, les *Sorites* sont inféodés à un milieu de vie benthique lié aux herbiers à Posidonies (Angiospermes) sur les feuilles desquelles ils se fixent et se développent. C'est la mort de ces Foraminifères qui entraîne l'accumulation et le piégeage dans les multiples loges de leurs tests complexes des gaz issus de la décomposition du protoplasme (méthane, CO_2). Ces gaz plus légers que l'eau agissent comme des bulles et permettent la remontée en surface des tests des Foraminifères, dont la forme hydrodynamique particulière facilite le transport loin de leur lieu d'origine et sur de grandes distances (des dizaines de km) au gré des courants et des marées. Par analogie, les grands tests larges et aplatis de certains Foraminifères Lituolidés du Mésozoïque comme *Eclusia* et *Anchispirocyclina* présentent donc des propriétés et un mode de transport par flottaison tout à fait identiques.

3. Formation des Calcaires roux.

Des observations identiques peuvent être faites dans les Calcaires roux sus-jacents, où les courants sous-marins atteignent une intensité maximale avec le dépôt de matériaux biodétritiques (remaniés) polis et usés disposés en stratifications obliques ou entrecroisées (courants unidirectionnels à bimodaux). Ce type de sédimentation indique le retour à un régime marin franc fortement influencé depuis le sud par les marées du bassin subalpin de la Mésogée.

Paléokarst

Dans la moitié droite (côté Est) de la carrière de la Violette, la partie sommitale de la Chambotte inférieure présente localement des zones bréchifiées métriques qui contrastent fortement avec la stratifica-

tion latérale régulière des bancs calcaires environnants. Observé de plus près, le toit des calcaires massifs de la Chambotte inférieure montre une karstification et une rubéfaction sur quelques centimètres ainsi qu'une surface d'érosion parfaitement nette, sur laquelle se développent de petites colonies naissantes de Stromatopores. Ces phénomènes de bréchification, karstification, rubéfaction et érosion impliquent un substrat calcaire déjà fortement induré (paléosol rubéfié) par une cimentation d'eau douce contemporaine de l'émersion mise en évidence par le paléokarst et son remplissage. Au cours d'une phase rapide à l'échelle géologique (quelques milliers d'années?) de hausse du niveau marin précédant le dépôt des Marnes d'Arzier, le paléosol a été érodé et raviné, avec un remaniement complet et une resédimentation des sédiments émersifs rubéfiés et laguno-lacustres dans le remplissage karstique.

Environ 8 m sous le sommet de la Chambotte inférieure (Fig. 1 et Planche I, C-D), ce remplissage karstique constitue une vire marno-calcaire discontinue (10 à 60 cm) et subhorizontale correspondant à un joint de stratification transformé en conduit karstique par dissolution et élargissement subséquent. Le remplissage lui-même comprend deux couches superposées:

1) Le premier niveau (jusqu'à 20 cm) correspond à une marne latéritique décalcifiée et siliciclastique, très ferrugineuse et bariolée, de couleur jaune-ocre à violacée. Ce niveau marneux et limoniteux contient des débris charbonneux (lignite) de végétaux, ainsi que des pisolithes millimétriques et des galets centimétriques remaniés du faciès typique de la Chambotte inférieure, qui présentent une fois cassés des auréoles ferrugineuses d'altération témoignant d'un séjour prolongé dans de l'eau douce acide et corrosive. L'enrichissement en oxydes de fer (limonite, goethite et hématite) est très important à la base de cette couche, au contact du calcaire de la Chambotte inférieure, en formant une croûte ferrugineuse massive (0,5 à 1 cm) de couleur rouge vif très foncée et disposée en bourrelets irréguliers. De plus, une rubéfaction et une ferruginisation prononcées imprègnent encore par pseudomorphose sur 3 cm la surface irrégulière du banc calcaire massif sous-jacent qui ne présente en outre aucune des structures pouvant se rapporter à un paléosol *in situ* (bréchification, microkarstification, rhizolithes) et correspond bien pour cette raison à la paroi d'un conduit de dissolution karstique. La décalcification et la rubéfaction importantes du niveau marneux évoquent les paléosols ferralitiques de type tropical ou encore plus précisément la «terra rossa» calcaire du climat méditérranéen actuel.

2) Le second niveau (jusqu'à 40 cm) constitue le colmatage du remplissage karstique et est représenté par un sédiment marno-calcaire oolithique jaunâtre d'aspect grumeleux, qui est encore fortement ferrugineux avec de petits amas centimétriques disséminés de goethite massive ainsi que des vides cunéiformes millimétriques correspondant probablement à des débris végétaux (fragments de bois ou de feuilles) ayant disparu par altération. Ce second niveau sédimentaire contient aussi passablement de Foraminifères remaniés, qui avec les ooides témoignent d'une dominance marine, traduisant bien la fin du processus d'ennoyage et de remaniement par la mer des dépôts subaériens et marécageux caractérisés par le niveau 1 marneux et rubéfié.

Le remplissage karstique de la carrière de la Violette (niveaux 1 et 2) a livré des Foraminifères benthiques remaniés du Berriaso-Valanginien (Pfendérines, Pseudocyclammines et Trocholines), une malacofaune wealdienne de Mollusques laguno-lacustres ainsi que des restes fragmentaires de Vertébrés (débris d'os, de plaques dermiques, d'écailles et de dents), dont des écailles de *Lepidotes* et des dents de Pycnodontes indéterminés (Poissons sténohalins et adaptés à un milieu marin ou lagunaire saumâtre) ainsi que de nombreuses dents de Crocodiles nains hétérodontes du Mésozoïque caractérisant un paléoenvironnement de marais côtier. La coloration de ces restes de Vertébrés varie selon le degré d'altération et de lessivage des matériaux au sein du paléokarst, en pouvant présenter des teintes noire, brunâtre, jaunâtre ou même blanchâtre.

Le contenu micropaléontologique de ce remplissage karstique, collecté et étudié par l'auteur (environ 400 kg de sédiment traités par lavage-tamisage), n'a montré absolument aucun des éléments du Crétacé supérieur ou du Tertiaire (Foraminifères ou dents de Mammifères évolués) récoltés dans les «poches sidérolithiques» du Paléocène-Eocène du Jura (Häfeli 1966; Hooker et Weidmann 2000).

Planche II

Dents de Crocodiles nains hétérodontes (Mésosuchiens) du remplissage karstique de type wealdien (Valanginien inférieur, Crétacé inférieur basal) de la carrière de la Violette, Arzier, Jura suisse occidental.

A à H: *Bernissartia* sp. (Bernissartidae). MHNG 60467 à 60469.

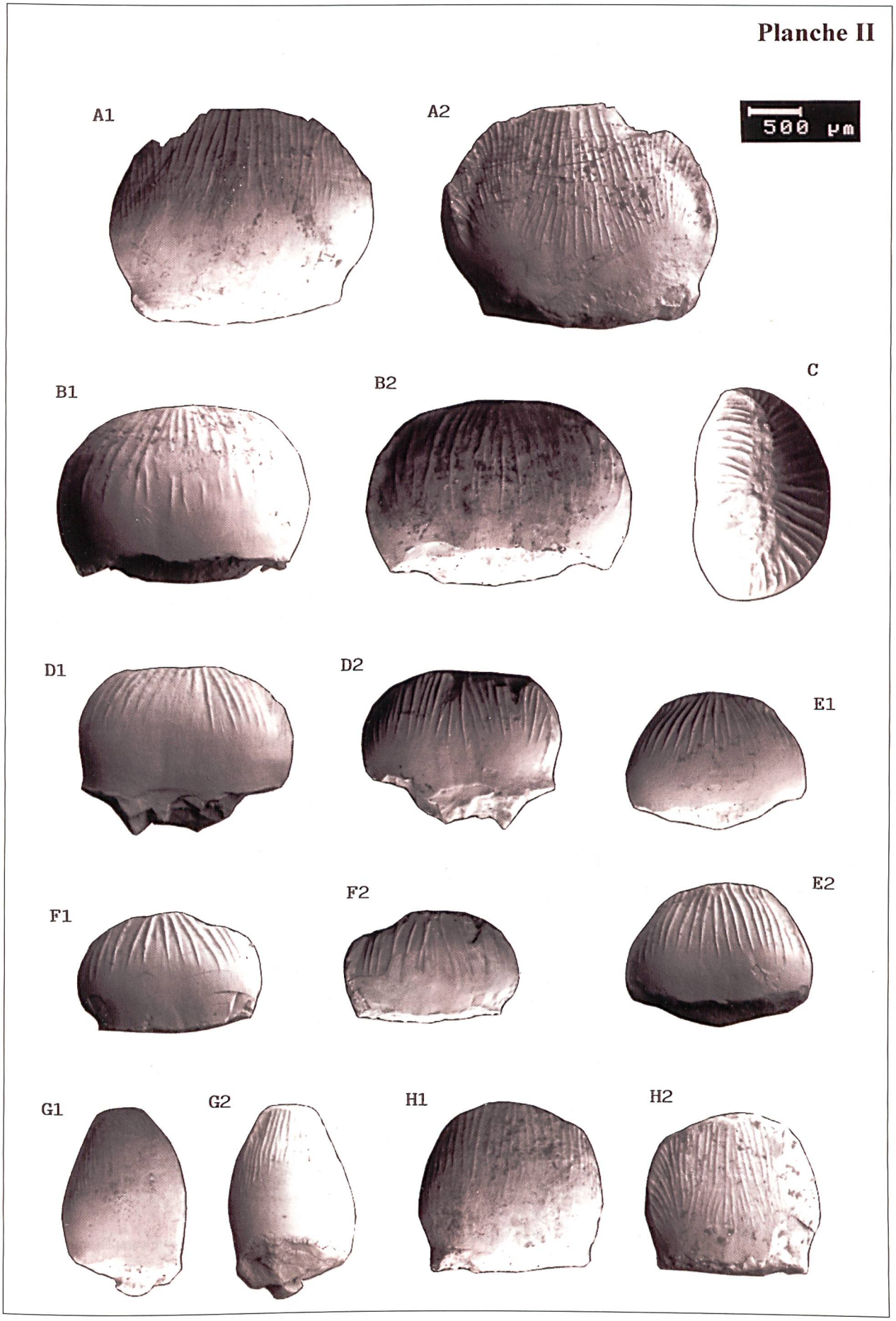
A-B et D à H: vues latérales, chaque lettre correspondant à un même spécimen en vue externe ou «buccale» (1) et interne ou «linguale» (2).

C: vue apicale.

A-B-C-D-E-F-H: dents postérieures.

G: dent antérieure.

Planche II



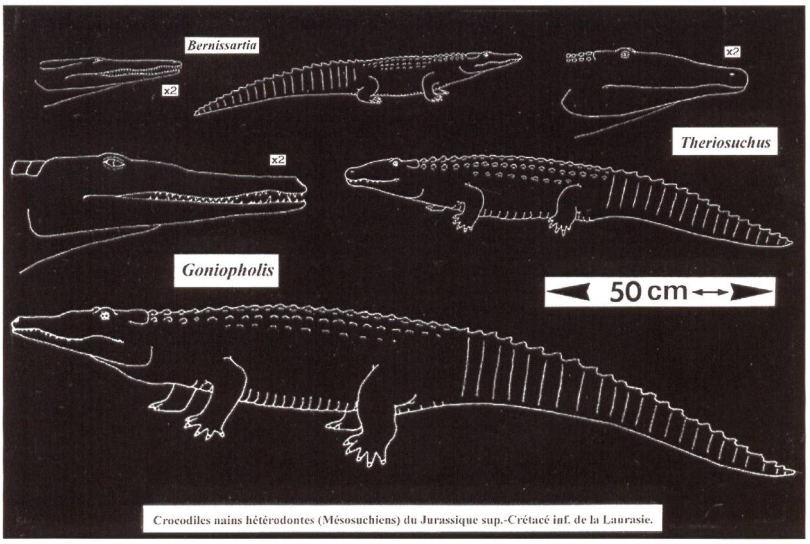


Fig. 2. Représentation schématique des Crocodiles nains hétérodontes (Mésosuchiens) du remplissage karstique de type wealdien (Valanginien inférieur, Crétacé inférieur basal) de la carrière de la Violette, Arzier, Jura suisse occidental. D'après le site Internet www.angellis.net (figures modifiées, 2005).

Toutefois, une analyse palynologique (J. Médus, comm. pers. 2003) a fait apparaître à côté de rares pollens de Conifères en très mauvais état (vraisemblablement crétacés) d'autres pollens angiospermiens (Plantes à fleurs) plus abondants et surtout bien mieux conservés, qui évoquent le Tertiaire avec une réactivation ainsi qu'une pollution par des eaux d'infiltration durant cette période et témoignent donc ainsi d'un paléokarst polyphasé entre le Crétacé inférieur et l'Actuel.

Enfin, la position subhorizontale du remplissage karstique le long d'un joint de stratification de la Chambotte inférieure laisse supposer une infiltration sédimentaire depuis la surface d'émersion placée une dizaine de mètres plus haut et qui se trouvait aussi à l'époque au-dessus de la nappe phréatique d'eau douce, suivant une ou plusieurs paléofailles éocrétacées vraisemblablement à l'origine du paléokarst. D'après l'absence de calottes polaires permanentes et de variations glacio-eustatiques majeures au Crétacé (Frakes et Francis 1988; Benton 1992), une tectonique synsédimentaire contemporaine d'âge berriaso-valanginien permet d'expliquer au mieux une telle émersion d'ordre décamétrique dans le paléoenvironnement margino-littoral côtier et très plat de la plate-forme jurassienne au Crétacé inférieur. D'une manière générale, le remplissage karstique de la Violette correspond bien, par les observations et interprétations de cette étude, à un dépôt palustre remanié de type wealdien caractéristique du Crétacé inférieur et tout à fait comparable aux faciès continentaux homologues de l'Europe occidentale (Bassin parisien et Sud de l'Angleterre en particulier).

Malacofaune et crocodiles nains

Le remplissage karstique de la Violette a livré une intéressante malacofaune de Mollusques laguno-lacustres sous forme de moules internes plus ou moins bien conservés ne permettant au mieux qu'une détermination assez sommaire au niveau générique (Planche IV). Ces Mollusques caractéristiques des faciès purbeckiens et wealdiens du Crétacé inférieur non-marin de l'Europe occidentale (Huckriede 1967; Bandel 1991) comprennent des Lamellibranches (*Neomiodon* sp.) et de nombreux Gastéropodes (*Provalvata*, *Maillardinus* et opercules de *Cyclophoroidea*, *Proauriculastra*, *Pyrgulifera* et *Proauricula* spp.).

Mais la plus remarquable découverte dans ce remplissage karstique est constituée par une collection de 260 dents (MHNG 60467 à 60478, types principaux figurés sur les Planches II et III) de Crocodiles nains hétérodontes du Mésozoïque (Mésosuchiens, Fig. 2) caractérisant les paléoenvironnements margino-littoraux et palustres du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur de l'Europe occidentale (Joffe 1967; Buffetaut et Ford 1979; Thies et al. 1997) et de l'Amérique du Nord (Pomes 1990; Winkler et al. 1990). En ce qui concerne la détermination de ces dents, celles-ci ont clairement été identifiées (cf. remerciements) comme appartenant à des Crocodiliens par J. Le Loeuff, S.G. Lucas et W. Brinkmann, ce dernier ayant reconnu plus précisément le genre *Theriosuchus* (comm. pers. 2003-2004). Toutes les

Planche III

Dents de Crocodiles nains hétérodontes (Mésosuchiens) du remplissage karstique de type wealdien (Valanginien inférieur, Crétacé inférieur basal) de la carrière de la Violette, Arzier, Jura suisse occidental.

A à F: *Theriosuchus* sp. (Atoposauridae). MHNG 60467 à 60469.

G à L: *Goniopholis* sp. (Goniopholididae). MHNG 60470-60471.

A à F et G-H-J-K (dents cassées et incomplètes): vues latérales, les lettres annotées 1 et 2 correspondent à un même spécimen en vue externe ou «buccale» (A1-B-D-F1) et interne ou «linguale» (A2-C-E-F2).

G-H: fragments de dents montrant une extrémité arrondie très caractéristique.

I: vue basale d'une dent montrant sa racine complètement résorbée.

L: vue de détail d'une dent montrant les denticules garnissant l'une des deux arêtes tranchantes.

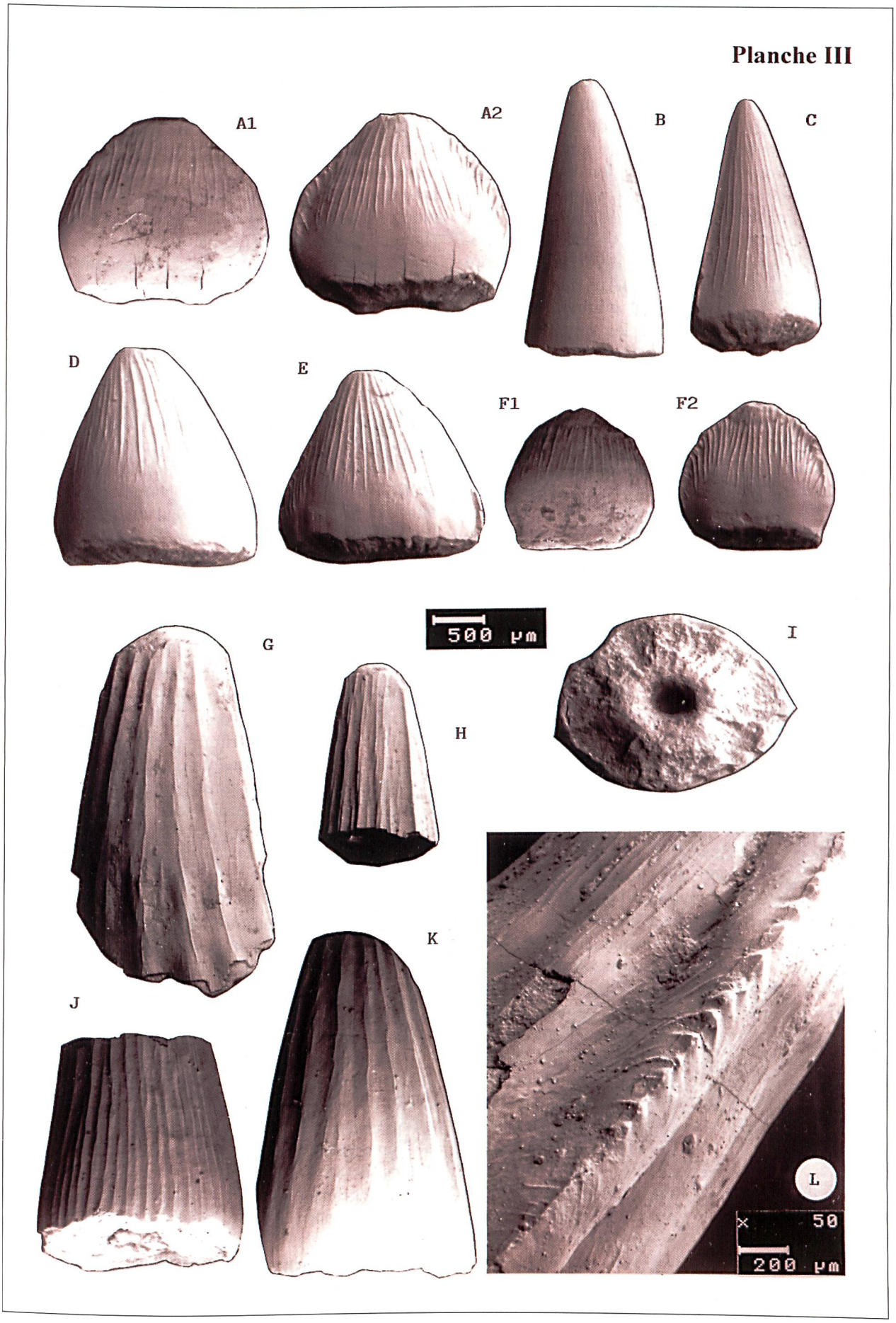


Planche III
A1
A2
B
C
D
E
F1
F2
500 µm
G
H
I
J
K
L
× 50
200 µm

autres déterminations et remarques (y compris celles concernant la malacofaune) ainsi que les commentaires sur la paléoécologie sont de l'auteur (P.O. Mojon). La relativement petite taille de la plupart des dents récoltées (entre 500 µm et 1 cm) indique une provenance à partir d'individus plutôt juvéniles. Ces dents de Crocodiliens sont quasiment toutes caractérisées par la résorption de leur racine, qui montre que celles-ci sont tombées et ont été remplacées naturellement par la croissance des bourgeons dentaires à l'intérieur d'alvéoles disposées en série linéaire et marginale de chaque côté des mâchoires (dentition de type thécodonte). L'hétérodontie prononcée (= grande variabilité morphologique) de ces dents les rapprochent de celles de petits Dinosauriens Ornithopodes herbivores (Thies et al. 1997). Cependant, elles se différencient de ces dernières par les denticules beaucoup plus fins de leurs arêtes tranchantes, l'absence de constriction marquée à la base des couronnes dentaires ainsi qu'une striation longitudinale bien développée et typique qui n'est pas celle de dents de Dinosaures. Ces dents indiquent un régime alimentaire carnivore et appartiennent à trois genres différents de Crocodiles nains et amphibies, des formes prédatrices de petite taille entre 0,5 et 2 m de longueur, excellentes nageuses mais aussi agiles et bien adaptées au déplacements sur le terre ferme comme les Crocodiles actuels (Eusuchiens).

Les dents les plus fréquentes, plates et réniformes-arrondies voire bulbeuses «en forme de bouton» pour les plus grandes, se rapportent à une dentition non seulement coupante mais aussi broyeuse dite «tribodonte» liée à une régime alimentaire essentiellement malacophage et carnassier (Mollusques, Crustacés et Tortues aquatiques principalement), critères qui caractérisent le genre *Bernissartia* (Buffetaut et Ford 1979), le plus petit des Crocodiles nains mis en évidence (longueur d'environ 60 cm). Les dents du genre *Theriosuchus* (long d'environ 1 m), nettement plus rares et d'aspect triangulaire et lancéolé, sont aplaties latéralement, pointues et tranchantes, adaptées à un régime alimentaire piscivore (Thies et al. 1997). Enfin, également peu répandues, les dents du genre *Goniopholis* (jusqu'à 2 m de long pour les adultes) sont les plus grandes, de forme conique allongée et légèrement incurvée vers l'intérieur de la mâchoire, avec un émail orné de fortes stries et cannelures longitudinales ainsi qu'une extrémité arrondie (Buffetaut et al. 1989), une morphologie traduisant une fonction préhensile et une alimentation aussi essentiellement piscivore. Toutes ces remarques concernant le régime alimentaire des Crocodiles nains du gisement de la Violette s'accordent bien avec les restes abondants de Mollusques et de Poissons Téléostéens trouvés en association. Mais cela n'exclut cependant pas la capture éventuelle de petites proies sur la terre ferme (Mammifères, Dinosauriens, Invertébrés divers) ou le cannibalisme, assez courant chez les Crocodiles modernes. Comme pour ces derniers, les Mésosuchiens de la Violette possédaient sans doute les mêmes aptitudes et adaptations, avec un régime alimentaire certainement plus complexe que les quelques généralités présentées ci-dessus. À ce propos, un autre rapprochement avec les Lézards (Lacertiliens) est très instructif et montre que les petites formes à écologie similaire (Iguanidés, Agamidés) sont surtout carnassières (piscivores: Poissons et Tortues), occasionnellement oviphages (œufs) et parfois malacophages avec une dentition tribodonte (genre *Draecena*), tout comme les Crocodiles nains de la Violette. Néanmoins, l'alimentation de ces Lézards de petite taille peut changer en fonction de l'âge avec des juvéniles insectivores (larves d'Insectes, Araignées) et des adultes devenus végétariens. D'autre part, les Iguanes adultes peuvent être amphibies ou entièrement terrestres voire arboricoles (*Iguana iguana* de l'Amérique du Sud). Un cas remarquable est représenté par les fameux Iguanes des Galapagos, qui se répartissent en Iguanes marins amphibies (*Amblyrhyncus cristatus*) se nourrissant d'algues et en Iguanes terrestres (*Conolophus subcristatus*) occasionnellement arboricoles et à régime alimentaire constitué par les raquettes (feuilles), fleurs et fruits des Oponces (cactus *Opuntia*). D'une manière générale, les formes insectivores ont des dents fines et pointues (parfois cuspidées) à fonction préhensile, alors que les carnassiers et les herbivores présentent des dents broyeuses d'aspect molariforme. L'hétérodontie peut évoquer un régime alimentaire omnivore et varié (Primates, Ursidés) ou plus précisément, les fonctions spécifiques (préhensile, coupante ou broyeuse) des divers types de dents de la mâchoire aussi bien

Planche IV

Malacofaune laguno-lacustre de Lamellibranches (A-B) et des Gastéropodes (C à N) du remplissage karstique de type wealdien (Valanginien inférieur, Crétacé inférieur basal) de la carrière de la Violette, Arzier, Jura suisse occidental. MHNG 60472-60473.

A-B: *Neomiodon* sp.; C-D-E: *Provalvata* spp.;
F: *Proauriculastra* sp.; G: *Pyrgulifera* sp.;
H: *Proauricula* sp.; I-J-K: *Maillardinus* spp.;
L-M-N: opercules de *Cyclophoroidea*.
A à K: moules internes (remplissages de coquilles dissoutes durant la diagénèse du sédiment).
A-F-G-H-I-J-K: vues latérales.
B-C: vues latérales obliques.
D-E: vues apicales.
L: vue externe.
M: vue de profil centrée (tranche interne d'un opercule cassé par la moitié).
N: vue interne.

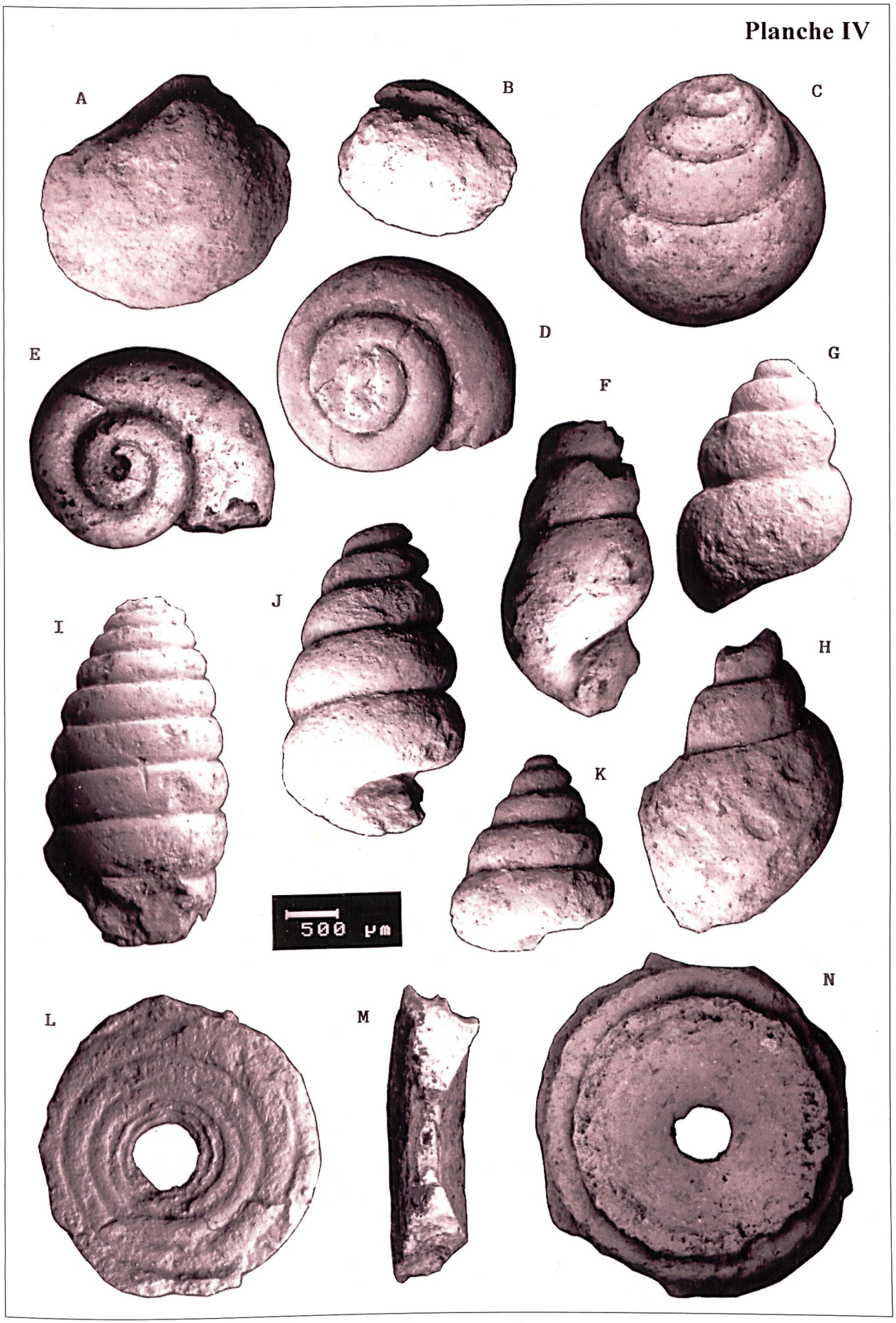


Planche IV
A
B
C
D
E
F
G
H
I
J
K
L
M
N
500 µm

chez des herbivores (Dinosauriens Ornithopodes) que des carnivores (Crocodiles nains). Ces quelques considérations suggèrent que les Crocodiles nains de la Violette occupaient sans doute au sol des niches écologiques comparables à celles de Lacertiliens de même taille, avec peut-être pour certains un mode de vie partiellement arboricole et une alimentation diversifiée fondamentalement carnivore mais n'excluant pas *a priori* une part végétale.

De même que le site plutôt exceptionnel de la Violette, quelques autres gisements du Crétacé basal non-marin du Jura ont aussi fourni des dents de Reptiles terrestres tels que les Crocodiliens et Dinosauriens. Ainsi, la partie supérieure des faciès purbeckiens (Berriasien inférieur) du Jura français a également livré des dents bien conservées de *Theriosuchus* et de *Goniopholis* (éch. SCl 29' de la région de St-Claude; Mojon 2002, p. 70) ainsi qu'une très rare dent de grand Dinosaure carnivore (Théropode) attribuée au genre *Allosaurus* (Mojon 2001). Par rapport aux Crocodiles nains *Bernissartia*, *Theriosuchus* et *Goniopholis* limités à la Laurasie (Eurasie et Amérique du Nord), la répartition d'*Allosaurus* est beaucoup plus vaste en s'étendant vers le sud au continent de Gondwana du Jurassique supérieur de l'Afrique orientale (Série de Tendaguru en Tanzanie) au Crétacé inférieur élevé (Barrémien-Aptien) de l'Australie (Benton 1992; Dettmann et al. 1992; Currie et Padian 1997) et témoigne ainsi de communications par voie terrestre au sein d'un supercontinent (Pangée) encore relativement intact et continu durant la majeure partie du Mésozoïque.

Implications paléogéographiques et paléotectoniques

La coupe de la Violette est placée entre le Jura méridional avec un Crétacé inférieur relativement complet et le Jura central où la série berriaso-valanginienne présente localement d'importantes lacunes sédimentaires. Parfois, le Valanginien est remarquablement développé comme dans la coupe du Colas à Ste-Croix (Blanc 1996), mais peut aussi manquer en majeure partie dans la région de Neuchâtel. L'une des coupes significative à cet égard, celle de la carrière Juracime à Cornaux (Steinhauser et Charollais 1971), montre en effet l'absence totale des Marnes d'Arzier au niveau d'un chenal érosif d'orientation nord-sud comblé par des Calcaires roux à stratifications entrecroisées et ravinant les calcaires berriasiens.

Ces observations jointes à la présence de nombreux indices d'émersion tout à fait comparables à ceux de la Violette (rubéfaction, karstification, microfossiles laguno-lacustres) impliquent la surrection au Crétacé inférieur de portions du substrat marin de la plate-forme jurassienne vraisemblablement par des mouvements tectoniques synsédimentaires (Carozzi 1948; Schnorf-Steiner et Guillaume 1965; Détraz et Mojon 1989). Une disposition particulière sous forme de «mégablocs basculés et émergeants» semble en effet à l'origine des chenaux de marées postulés et des émersions généralisées dans le Berriaso-Valanginien du Jura, en parfaite concordance avec la phase tectonique distensive néocimmérienne du Crétacé inférieur de l'Europe (Blanc et Mojon 1996; Mojon 2002).

Conclusions

Le remplissage karstique de la carrière de la Violette (Arzier, Jura suisse occidental) témoigne d'une émersion majeure au sein d'une série marine berriaso-valanginienne (Crétacé basal) en ayant livré de nombreux microfossiles essentiellement palustres du Crétacé inférieur (Mollusques laguno-lacustres et dents de Crocodiles nains en particulier) et peut donc être attribué à un paléokarst d'origine contemporaine éocrétacée, qui n'a donc *a priori* rien à voir avec les formations sidérolithiques de la base du Tertiaire (Paléocène-Eocène) auxquelles ce type de dépôt a été jusqu'ici couramment rapporté dans le Jura. En outre, la découverte d'*Eclusia moutyi* dans la partie sommitale des Marnes d'Arzier sus-jacentes permet d'y mettre en évidence un Valanginien inférieur plus complet que ce qui était postulé jusqu'à présent.

Abréviation (collection de référence)

MHNG 60467 à 60480: concerne le dépôt du matériel paléontologique de référence pour la carrière de la Violette (Arzier, Jura suisse) au Muséum d'Histoire naturelle de Genève (collection P.O. Mojon).

Remerciements

L'auteur tient à remercier ici le Dr Jean Wüest et le Muséum d'Histoire naturelle de Genève pour la réalisation au MEB des photographies de cette étude, ainsi que le Dr Jacques Médus (Aix-en-Provence), le Dr Jean Le Loeuff (Espéraza), le Dr Spencer G. Lucas (Albuquerque, NM) et le Dr Winand Brinkmann (Zürich) pour leurs déterminations, commentaires et suggestions. Le Professeur Jean Charollais (Genève) a très aimablement accepté de réviser et de corriger cet article, qu'il en soit également vivement remercié.

Bibliographie

- **Arn R, Conrad MA, Meyer M, Weidmann M.** 2005. Feuille 1261 Nyon. Atlas géologique Suisse 1:25 000, Notice explicative 117: 101 p.
- **Bandel K.** 1991. Gastropods from brackish and fresh water of the Jurassic-Cretaceous transition (a systematic reevaluation). Berliner geowissenschaftliche Abhandlungen, A, 134: 9-55.
- **Benton M.** 1992. Les dinosaures polaires. La Recherche, 23: 62-70.
- **Blanc E.** 1996. Transect plate-forme - bassin dans les séries carbonatées du Berriasien supérieur et du Valanginien inférieur (domaines jurassien et nord-vocontien). Chronostratigraphie et transferts de sédiments. Géologie Alpine, Mémoire H.S. 25: 311 p.
- **Blanc E, Mojon PO.** 1996. Un paléokarst du Crétacé basal (Berriasien moyen) dans le Jura suisse occidental (région de Bienne): corrélations avec les domaines boréal et téthysien. Cretaceous Research, 17: 403-418.
- **Buffetaut E, Ford RLE.** 1979. The crocodilian *Bernissartia* in the Wealden of the Isle of Wight. Paleontology, 22: 905-912.
- **Buffetaut E, Pouit D, Rigollet L, Archambeau JP.** 1989. Poissons et reptiles continentaux du Purbeckien de la région de Cognac (Charente). Bulletin de la Société géologique de France, (8), 5: 1065-1069.
- **Carozzi A.** 1948. Etude stratigraphique et micrographique du Purbeckien du Jura suisse. Archives des Sciences, 1: 211-375.
- **Charollais J, Wernli R.** *et al.* 1995. 23ème Colloque européen de Micropaléontologie, Pays de Genève et régions voisines (Suisse et France), 24-30 septembre 1995. Déterminations palynomorphes (p. 15-17) et indications inédites (p. 50) E. Monteil, 1995. Publications du Département de Géologie et de Paléontologie de l'Université de Genève, série Guide géologique n° 7: 141 p.
- **Clavel B, Charollais J, Busnardo R, Le Hégarat G.** 1986. Précisions stratigraphiques sur le Crétacé basal du Jura méridional. Eclogae geologicae Helvetiae, 79: 319-341.
- **Currie PJ, Padian K.** (eds.). 1997. Encyclopedia of Dinosaurs. Academic Press, San Diego, 869 p.
- **Davaud E, Sepfontaine M.** 1995. Post-mortem onshore transportation of epiphytic foraminifera: Recent example from the Tunisian coastline. Journal of Sedimentary Research, A61: 136-142.
- **Détraz H, Mojon PO.** 1989. Evolution paléogéographique de la marge jurassienne de la Téthys du Tithonique-Portlandien au Valanginien: corrélations biostratigraphique et séquentielle des faciès marins à continentaux. Eclogae geologicae Helvetiae, 82: 37-112.
- **Dettmann ME, Molnar RE, Douglas JG, Burger D, Fielding C, Clifford HT, Francis J, Rich T, Jell P, Wade M, Rich PV, Kemp A, Rozefelds A, Pledge N.** 1992. Australian Cretaceous terrestrial faunas and floras: biostratigraphic and biogeographic implications. Cretaceous Research, 13: 207-262.
- **Frakes LA, Francis JE.** 1988. A guide to Phanerozoic cold polar climates from high-latitude ice-rafting in the Cretaceous. Nature, 333: 547-549.
- **Gaspard D.** 1989. Explosion de Brachiopodes au Crétacé inférieur dans la mer épicontinentale jurassienne. Revue de Paléobiologie, volume spécial n° 3: 81-103.
- **Häfeli Ch.** 1966. Die Jura/Kreide – Grenzschichten im Bielerseegebiet (Kt. Bern). Eclogae geologicae Helvetiae, 59: 565-697.
- **Hooker JJ, Weidmann M.** 2000. The Eocene mammal faunas of Mormont, Switzerland. Mémoires suisses de Paléontologie, 120: 142 p.
- **Huckriede R.** 1967. Molluskenfaunen mit limnischen und brackischen Elementen aus Jura, Serpulit und Wealden NW-Deutschlands und ihre paläogeographische Bedeutung. Beihefte zum Geologischen Jahrbuch, 67: 1-263.
- **Jaccard A.** 1869. Description géologique du Jura vaudois et neuchâtelois. Matériaux Carte géologique Suisse, 6: 1-340.
- **Joffe J.** 1967. The "dwarf" crocodiles of the Purbeck Formation, Dorset: a reappraisal. Paleontology, 10: 629-639.
- **Mojon PO.** 2001. Dinosauriens éocrétacés des faciès purbeckiens (Berriasien inférieur) du Jura méridional (S.-E. de la France). Archives des Sciences, 54: 1-5.
- **Mojon PO.** 2002. Les Formations mésozoïques à Charophytes (Jurassique moyen – Crétacé inférieur) de la marge téthysienne nord-occidentale (Sud-Est de la France, Suisse occidentale, Nord-Est de l'Espagne). Sédimentologie, micropaléontologie, biostratigraphie. Géologie Alpine, Mémoire H.S. 41: 386 p.
- **Mouty M.** 1966. Le Néocomien dans le Jura méridional. Thèse n° 1369 Univ. Genève, Impr. Univ. Damas (Syrie), 270 p.
- **Pomes ML.** 1990. Morphotypes of Lower Cretaceous crocodilian teeth (Archosauria) from the Cedar Mountain Formation of Utah and the Antlers Formation of Texas. Journal of Vertebrate Paleontology, suppl. abstracts of papers 149, 10: 38A.
- **Schnorf A.** 1960a. Les Milleporidiidae des marnes valanginiennes d'Arzier. Eclogae geologicae Helvetiae, 53: 716-728, 3 pl.

- **Schnorf A.** 1960b. Parastromatoporidae nouveaux du Jurassique supérieur et du Valanginien inférieur du Jura. Eclogae geologicae Helvetiae, 53: 729-732, 3 pl.
- **Schnorf A.** 1960c. Les Actinostromaria des marnes valanginiennes d'Arzier. Eclogae geologicae Helvetiae, 53: 733-746, 5 pl.
- **Schnorf-Steiner A.** 1963a. Sur quelques «Chaetetidae» du Valanginien du Jura. Eclogae geologicae Helvetiae, 56: 1117-1130, 8 pl.
- **Schnorf-Steiner A.** 1963b. Les Steinerella des marnes valanginiennes d'Arzier. Eclogae geologicae Helvetiae, 56: 1131-1140, 10 pl.
- **Schnorf-Steiner A, Guillaume S.** 1965. Les marnes d'Arzier, leur extension, leur valeur stratigraphique. *In*: Colloque sur le Crétacé inférieur (Lyon, 1963). Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 34: 49-59.
- **Sepfontaine M.** 1971. *Eclusia moutyi* gen. et sp. nov., un Foraminifère nouveau du Valanginien du Jura méridional. Archives des Sciences, 24: 285-298.
- **Steinhauser RN, Charollais J.** 1971. Observations nouvelles et réflexions sur la stratigraphie du «Valanginien» de la région neuchâteloise et ses rapports avec le Jura méridional. Geobios, 4: 7-59.
- **Thies D, Windolf R., Mudroch A.** 1997. First record of Atoposauridae (Crocodylia: Metamesosuchia) in the Upper Jurassic (Kimmeridgian) of Northwest Germany. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abhandlungen, 205: 393-411.
- **Winkler DA, Murry PA, Jacobs LL.** 1990. Early Cretaceous (Comanchean) vertebrates of central Texas. Journal of Vertebrate Paleontology, 10: 95-116.