La formation de l'OOlithe ferrugineuse de Bayeux du Bajocien (Jurassique moyen) au lieu-dit « Les fours à chaux » entre Croisilles et les Moutiers-en-Cinglais (Calvados, NW France)

The Bajocian Oolithe ferrugineuse de Bayeux Formation (Middle Jurassic) at "Les Fours à Chaux" between Croisilles and Les Moutiers-en-Cinglais (Calvados, NW France)

Giulio PAVIA (1)
Laurent CORBIN (2)
Aldo DEFAVERI (3)
Lionel MAERTEN (4)
Davide OLIVERO (5)

Géologie de la France, n° 2, 2015, p. 5-17, 12 fig.

Mots-clés : Formation de l'Oolithe ferrugineuse de Bayeux, Ammonites, Biochronologie, Bajocien, Calvados.

Keywords: "Oolithe ferrugineuse de Bayeux" Formation, Ammonites, Biochronology, Bajocian, Calvados.

Résumé

L'étude traite des associations d'ammonites bajociennes de la Formation de l'Oolithe ferrugineuse de Bayeux. La coupe de « Les Fours à Chaux », entre Croisilles et Les Moutiers-en-Cinglais, illustre une section condensée avec remaniement taphonomique omniprésent. Tous les fossiles sont des éléments remaniés qui ont été transportés ou remobilisés avant l'enfouissement définitif. L'étude s'est portée sur les ammonites, qui peuvent être distinguées par les paramètres taphonomiques propres aux éléments resédimentés et aux éléments réélaborés ; les premiers sont définis sur l'équivalence et la continuité sédimentaire entre la matrice encaissante et les moules internes ; les fossiles réélaborés se rapportent aux altérations des moules internes suite aux épisodes de transport, remobilisation, abrasion, fracturation et encroûtement biogénique ou ferrugineux. Ces fossiles ont été regroupés dans des enregistrements taphonomiques (tapho-enregistrements ou taphorecords) caractérisés par un état de conservation variable. La relation entre taphorecords distingués par leur période de production, soit paléobiologique, soit taphonomique, permet de reconstituer leur succession registratique et ainsi, de contraindre la chronologie des événements sédimentaires. En conséquence, il est possible d'attribuer directement ou indirectement les niveaux de Les Fours à Chaux à des unités de la biozonation standard à ammonites du Bajocien du secteur ouest-Téthysien du Sous-Royaume Méditerranéen-Caucasien. La comparaison avec les coupes de Bretteville-sur-Odon et de Maizet montre une évolution différenciée du Bajocien au Sud de Caen : la partie inférieure de la succession est similaire et peut être attribuée à une rampe carbonatée s'approfondissant vers l'Est, tandis que le Bajocien supérieur au secteur de Les Fours à Chaux est réduit à cause d'une condensation stratigraphique plus importante et reflète le dépôt en milieu côtier propre au secteur sud-oriental du Massif Armoricain. Une comparaison avec les niveaux contemporains du Dorset, en Angleterre méridionale, montre également des équivalences ; mais les critères d'analyse taphonomique différents utilisés sur les successions anglaises ne permettent pas des corrélations précises. L'importance de la coupe de Les Fours à Chaux, pour la taxonomie des ammonites et à la valorisation du patrimoine géologique, est ici mise en évidence.

Abstract

The study deals with the associations of Bajocian ammonites of the Oolithe ferrugineuse de Bayeux Formation (OfB). The outcrop at the locality "Les Fours à Chaux", between Croisilles and Les Moutiers-en-Cinglais, illustrates a condensed section with ubiquitous taphonomic reworking. All fossils are reworked elements that have been transported or remobilized before final burial. The study is concentrated on reworked ammonites, which can be distinguished by taphonomic parameters as resedimented or reelaborated elements; the first are usually identified on the equivalence and the sedimentary continuity between the enclosing matrix and the internal moulds; the reelaborated fossils refer to all the changes which have suffered the internal moulds due to episodes of transport, remobilization, abrasion, breakage, biogenic encrusting or ferrugineous coating. These fossils were grouped into taphorecords that show distinctive preservation. The relationship between taphorecords distributed according to the time of production, both palaeobiologic and taphonomic, allows reconstructing their registratic succession and the chronological order of sedimentary events. As a result, it was possible to attribute

(1) Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino, via Valperga Caluso 35, I-10125 Torino, Italia (giulio.pavia@unito.it).
(2) Les 3 cours, F-14220 Les Moutiers-en-Cinglais (Calvados), France.
(3) via Pilipari 4/B, I-15004 Valmadonna (AL), Italia.
(4) 3 impasse du Moulin, F-14114 Ver sur Mer (Calvados), France.
(5) Observatoire de Lyon, UMR CNRS 5276 LGLTPE, 2 rue Dubois, Université Claude Bernard – Lyon 1, 69622 Villeurbanne cedex, France.
* Manuscrit présenté le 6 juillet 2015, accepté définitivement le 21 septembre 2015.

directly or indirectly each bed of the Les Fours à Chaux section to units of the Bajocian standard biozonation of the West Tethyan sector of the Sub-Mediterranean-Caucasian Subrealm. Comparison with the sections of Bretteville-sur-Odon and Maizet shows a differentiated evolution of the Bajocian successions in the southern interior of Caen: the lower part of the succession is similar and can be attributed to eastward deepening carbonate ramp whereas the upper Bajocian of the Fours à Chaux sector is reduced by higher stratigraphic condensation and reflects the deposition in coastal environments of the south-eastern sector of the Armorican Massif. The comparison with the contemporaneous levels present at Sherborne in Dorset shows equivalencies; however the different criterion of the taphonomic analyses carried on those successions prevents any accurate parallelism. The importance of the Les Fours à Chaux locality, over the taxonomy of ammonites and the valorisation of the geological heritage, is highlighted.

1. INTRODUCTION

La Formation de l'Oolithe ferrugineuse de Bayeux (OfB) dans le Calvados a fait l'objet de plusieurs études paléontologiques et stratigraphiques depuis le XIXe siècle. La richesse et la diversité de l'enregistrement fossile de ses couches calcaires à oolithes ferrugineuses ont fourni des données ayant conduit à la définition de l'Étage Bajocien dès 1849 (d'Orbigny, 1849-52, p. 157), déduit de la nature des ammonites (d'Orbigny, 1842-51, p. 606). La succession type du Bajocien fut définie en détail en 1852, à partir de la coupe de Les Hachettes près de Sainte-Honorine-des-Pertes au Nord de Bayeux (d'Orbigny, 1850-52 ; pour plus de détails voir Rioult, 1964 ; Pavia, 1994).

De nombreux autres affleurements temporaires de la Formation OfB (fig. 1) furent étudiés autour de Bayeux et dans la zone au Sud de Caen (Pavia *et al.*, 2013 et références dans cet article). Les successions dans le secteur côtier autour de Bayeux (par exemple : Les Hachettes, Saint-Côme-de-Fresné, Saint-Vigor, Sully) et celles au Sud de Caen (par exemple : Bretteville-sur-Odon, Feuguerolles-sur-Orne, Maizet, May-sur-Orne) diffèrent de manière significative en fonction de leur degré de condensation stratigraphique (*sensu* Gómez et Fernández-López, 1994). Les sections côtières des localités de Les Hachettes (Rioult, 1964) et Sully (Pavia, 1994) sont très condensées, tandis que celles de l'arrière-pays sont plus épaisses, comme à Feuguerolles-sur-Orne (Gauthier *et al.*, 1996) et Bretteville-sur-Odon (Pavia et Martire, 2010). Ces différences ont été récemment soulignées par G. Pavia *et al.* (2013, fig. 7) d'après la coupe de Maizet, cette dernière ayant servi à établir une corrélation entre les différentes successions bajociennes présentes au Sud de Caen.

Parmi les localités de l'arrière-pays, on peut citer celle de Les Moutiers-en-Cinglais évoquée par A. d'Orbigny (1850-52, p. 477), avec une section plus épaisse que les sites classiques de la côte (Haug, 1907, p. 1007) et qui a

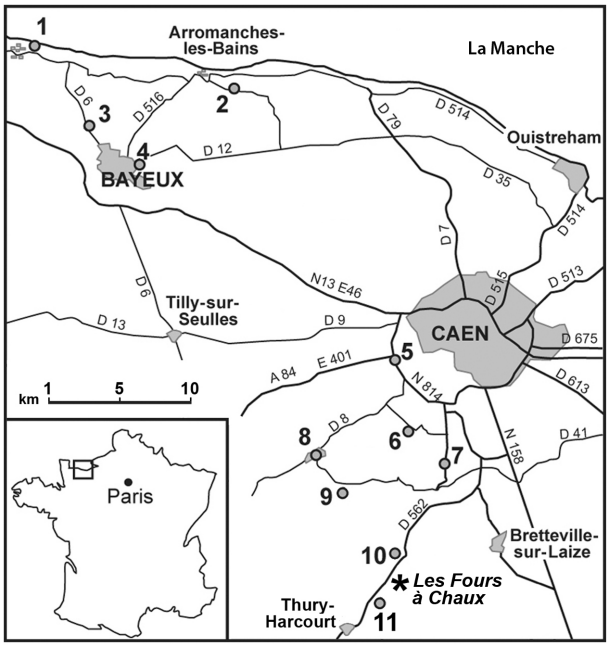

Figure 1 - Localisation géographique des affleurements du Bajocien cités dans l'article.

(1) Sainte-Honorine-des-Pertes, (2) Saint-Côme-de-Fresné, (3) Sully, (4) Saint-Vigor, (5) Bretteville-sur-Odon, (6) Feuguerolles-sur-Orne, (7) May-sur-Orne, (8) Evrecy, (9) Maizet, (10) Les-Moutiers-en-Cinglais, (11) Croisilles.

Figure 1 - Geographical location of the cited Bajocian outcrops.

fourni certains taxons d'ammonites comme "*Ammonites Blagdeni* Sowerby" (d'Orbigny, 1847 en 1842-51, p. 596, pl. 132). La succession lithostratigraphique des environs de Les Moutiers-en-Cinglais a été décrite par A. Dufrenoy et E. de Beaumont (1848), sur la base de notes publiées par M. Hérault (1832). Trois kilomètres au Sud de Moutiers, le toponyme de Croisilles est connu par les fossiles présents dans les collections du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (MNHN, 2015). Dans le Calvados, les anciennes descriptions de la Formation OfB proviennent principalement des affleurements du Jurassique moyen dans les carrières liées aux fours à chaux qui exploitaient les roches carbonatées de la formation du Calcaire de Caen. Ces carrières sont fermées depuis longtemps (Rioult, 1964, p. 240), comme celles du secteur situé entre Les Moutiers-en-Cinglais et Croisilles où est localisé le toponyme « Les Fours à Chaux ». De nouvelles études sur l'OfB ne peuvent être faites qu'à l'occasion de travaux de construction ou routiers, tels que l'ouverture de la rocade Périphérique de Caen en 1996 (Pavia et Martire, 2010). D'autre part, le secteur entre Croisilles et Les Moutiers-en-Cinglais constitue la région la plus au Sud où l'OfB n'a jamais été détectée, de sorte que la description des nouvelles coupes recouvre une grande importance pour intégrer les connaissances actuelles de la stratigraphie bajocienne du Calvados.

Le présent article est un rapport d'études de terrain faites en novembre 2014 et mai 2015 dans la commune de Croisilles, au lieu-dit « Les Fours à Chaux », où une coupe presque complète de la Formation de l'Oolithe ferrugineuse

de Bayeux a été levée et échantillonnée. En particulier, la stratigraphie de ces dépôts à oolithes ferrugineuses est discutée en détail. Bien qu'elle soit très voisine de celle décrite à Maizet (Pavia *et al.*, 2013), cette nouvelle section en diffère par son état de condensation, soit stratigraphique, soit taphonomique, la plus élevée reportée à ce jour dans les couches du Bajocien supérieur.

2. LA COUPE DE LES FOUS À CHAUX DE CROISILLES

2.1. Généralités

La succession lithostratigraphique de l'étage Bajocien dans le Calvados comprend trois formations (Rioult, 1964 ; Rioult *et al.*, 1991) dont les caractéristiques générales de bas en haut sont les suivantes (fig. 2) :

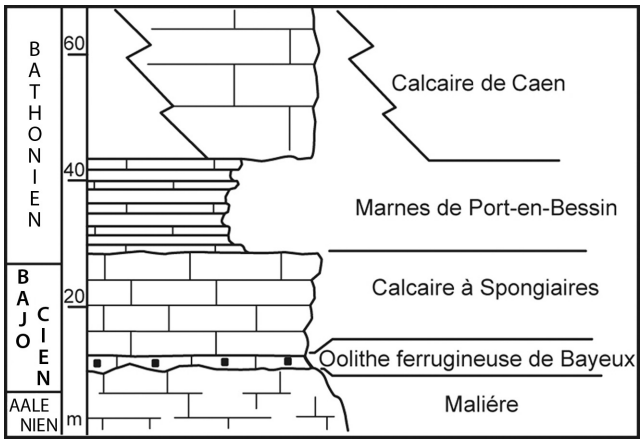

Figure 2 - Succession de l'Aalénien supérieur au Bathonien moyen dans les environs de Bayeux et Caen (modifié d'après M. Rioult *et al.*, 1991).

Figure 2 - Upper Aalenian to middle Bathonian succession of the Bayeux and Caen areas (modified from Rioult et al., 1991).

- Formation de la Malière (de l'Aalénien supérieur au Bajocien inférieur). Son épaisseur peut atteindre quelques mètres. Elle est constituée de mudstones et wackestones contenant des spicules siliceux d'éponges, parfois des gros cherts, et des grains de glauconie. Le sommet se compose d'un floatstone glauconieux riche en bio- et lithoclastes phosphatés remaniés à partir des niveaux de mudstones et wackestones sous-jacents ; ce niveau correspond au membre de la « Couche Verte » des anciens auteurs (Rioult, 1964) ;
- Formation de l'Oolithe ferrugineuse de Bayeux (Bajocien inférieur et supérieur). Son épaisseur varie de 20 cm à Les Hachettes, à 1,2 m à Maizet, et jusqu'à 3 m à Feuguerolles. La formation est constituée de wackestones bioclastiques gris ou jaunes et de packstones très riches en oolithes ferrugineuses. Dans les affleurements du secteur côtier une couche basale, bien séparée de l'OfB typique, représente le membre du Conglomérat de Bayeux (Haug, 1907, p. 1007) contenant des oncoïdes ferrugineux ellipsoïdaux centimétriques à pluricentimétriques dans une matrice calcaire jaune associés à de grands stromatolithes ferrugineux (Rioult *et al.*, 1991 ; Préat *et al.*, 2000). Le Conglomérat de Bayeux est daté du Bajocien inférieur (Rioult, 1964) ;
- Formation du calcaire à spongiaires (sommet du Bajocien). Calcaires siliceux de type packstone riches en fossiles d'éponges. La formation peut atteindre 12 m d'épaisseur dans le secteur côtier.

La coupe étudiée est située dans la commune de Croisilles, juste au Sud de la commune de Les Moutiers-en-Cinglais (coordonnées 49°00'28,59" N et 0°26'00,18" E) sur le terrain des anciens bureaux de l'exploitation des « Fours à Chaux ». L'Oolithe ferrugineuse de Bayeux a été exploitée sur une surface d'environ 100 m², ultérieurement le terrain a été requalifié en parc privé. En raison de l'activité tectonique liée au soulèvement du secteur oriental du Massif Armoricain, et principalement du système de failles liées à l'Eperon du Perche (Rioult *et al.*, 1991), la succession lithologique est fracturée par des failles ayant ouvert des fissures verticales remplies par des sédiments vaseux quaternaires. En dépit de ces perturbations, la succession peut être reconstruite en détail.

La coupe de Les Fours à Chaux a été échantillonnée couche par couche dans l'intervalle recouvrant le sommet de la Malière et l'OfB. Les associations fossiles sont principalement constituées par des mollusques, parmi lesquels les bivalves dominent. Une attention particulière a été portée aux ammonites. Les fossiles récoltés sont conservés en partie dans la collection de L. Maerten (accessible à Ver sur Mer, Calvados) et en partie au Musée géo-paléontologique de l'Université de Turin (Italie), en vue d'études ultérieures. En ce qui concerne les caractéristiques « fossil-diagénétiques » des exemplaires d'ammonites, la conservation des moules internes avec coquille néomorphique est la règle. Le remplissage sédimentaire est présent dans la chambre d'habitation et les tours externes du phragmocône, mais les tours internes sont souvent vides, sauf lorsque la coquille montre des ruptures dues aux processus biostratinomiques qui ont permis au sédiment de remplir la coquille jusqu'à la protoconque.

2.2. Méthodes

Notre étude taphonomique macroscopique a porté sur les mécanismes d'altération taphonomique des fossiles par rapport à la matrice sédimentaire, selon les méthodes développées par S.-R. Fernández-López (1991, 1995, 2007, 2011a).

Toutes les ammonites sont affectées par un remaniement selon deux processus : (a) resédimentation, avec déplacement des éléments taphonomiques sur le fond de dépôt et avant enfouissement ; (b) réélaboration, consécutive à exhumation, voire à abrasion, et déplacement des éléments taphonomiques précédemment enfouis dans le substrat avant leur enfouissement définitif. En conséquence, les fossiles resédimentés doivent être

considérés comme contemporains du sédiment dans lequel ils ont été enfouis, alors que les fossiles réélaborés sont plus âgés que la couche encaissante (Pavia *et al.*, 2013 et références citées).

Les ammonites resédimentées du secteur de Les Fours à Chaux sont conservées sous forme de coquilles entières ou fragmentées avec moule interne de même nature que la matrice encaissante. Les caractéristiques macroscopiques des fossiles réélaborés (Fernández-López, 2011b) sont très similaires à celles décrites à Bretteville-sur-Odon et à Maizet (respectivement Pavia et Martire, 2010 ; Pavia *et al.*, 2013) et montrent : (a) des différences lithologiques et/ou texturales et discontinuités entre le remplissage sédimentaire du moule interne et la matrice encaissante, (b) des croûtes d'oxydes de fer ou de glauconie sur les coquilles et/ou les moules internes, (c) des bio-colonisations par épizoaires sur le moule interne et/ou sur la coquille encroutée, (d) une fracturation du moule interne et/ou une désarticulation à la surface d'une cloison, (e) des surfaces d'abrasion sur le moule interne.

En résumé, la plupart des associations fossiles de la succession à Les Fours à Chaux représente des associations mixtes dues à une intense condensation taphonomique ; ces associations sont composées d'éléments resédimentés ou réélaborés, dont la distinction est cruciale par rapport aux définitions et corrélations biochronologiques.

Dans cette étude, la description de chaque association fossile est organisée par enregistrements taphonomiques, ici nommés « taphorecords » (Fernández-López, 1987, 1991, dits encore « tapho-enregistrements » selon S.-R. Fernández-López, 1995), qui sont des unités paléontologiques composées par des éléments taphonomiques avec des caractéristiques distinctes (Pavia et Martire, 1997 ; Pavia *et al.*, 2013 et références dans ces articles). Les fossiles présents dans une couche peuvent appartenir à un ou plusieurs taphorecords, chacun ayant des caractères diagnostiques liés à des processus biostratinomiques ou fossil-diagénétiques particuliers. Les tapho-enregistrements ou taphorecords sont dépourvus de toute signification stratigraphique, taxonomique ou chronologique, mais l'identification des différentes taphorecords dans une association fossile condensée au sein d'une couche particulière permet d'établir les hétérochronies entre les fossiles en les organisant dans une séquence chronologique dite « succession registratique » (Fernández-López, 1986, 1991, 1995, fig. 11-12 ; Fernández-López et Gómez, 1990). Autrement dit, la distinction de taphorecords (resédimentés RS ou réélaborés RL) permet de reconstruire la succession des événements sédimentaires.

Concernant le schéma de classification en unités biochronostratigraphiques, la biozonation proposée par M. Rioult *et al.* (1997) est adoptée ici, à l'instar de ce qui se fait dans la plupart des travaux (voir Pavia et Zunino, 2012 et références dans cet article). Le schéma des zones d'ammonites standard de l'Étage Bajocien est divisé en Sous-Royaume Méditerranéen-Caucasien, avec, de bas en haut : zones à Discites, Laeviuscula, Propinquans et Humphriesianum pour le Bajocien inférieur ; zones à Niortense, Garantiana et Parkinsoni pour le Bajocien supérieur (voir le schéma biochronostratigraphique des zones et subzones dans le chapitre Conclusions).

Il est à noter que la biostratigraphie des couches d'oolithes ferrugineuses de la coupe de Les Fours à Chaux est difficile à établir suite aux processus de réélaboration taphonomique récurrents affectant les associations d'ammonites. L'intervalle de temps représenté par les fossiles d'une association condensée est plus long que le temps de sédimentation de la couche encaissante. Pour cette raison, la pratique de « biostratigraphie indirecte » est ici utilisée conformément aux travaux de G. Pavia et L. Martire (2010), G. Pavia *et al.* (2013) et S.-R. Fernández-López et G. Pavia (2015) et selon le principe suivant : lorsque le cadre biochronostratigraphique d'une certaine couche ne peut être précisé à cause de l'absence de fossiles resédimentés, l'encadrement chronostratigraphique de l'évènement sédimentaire de la couche peut être défini en prenant pour limite supérieure (âge minimal) la biochronologie du fossile plus récent de la couche considérée, si celui-ci est absent dans la couche sus-jacente, et comme âge maximal la biochronologie du fossile le plus ancien de la couche suivante, s'il celui-ci est absent dans la couche considérée.

3. LA SUCCESSION STRATIGRAPHIQUE

La coupe du site de Les Fours à Chaux de Croisilles totalise 170 cm d'épaisseur. Elle se compose de 14 couches séparées par des discontinuités sédimentaires et distinctes par leurs caractéristiques texturales et leurs paramètres taphonomiques. Parmi ces 14 couches, les 11 premières ont été dégagées dans la tranchée ouverte sur le site (fig. 3). Les couches 1-2 représentent le toit de la Formation de la Malière et les couches 3-14 se rapportent à l'OfB. En particulier, les couches 3 à 9 peuvent être attribuées au membre du Conglomérat de Bayeux, bien que sa lithostratigraphie soit atypique par rapport à celle des affleurements côtiers (Pavia, 1994 ; Pavia et Martire, 2010). Les couches 10-14 correspondent à la partie moyenne de l'OfB, tandis que la couche à oolithes phylliteuses, régulièrement rencontrée au sommet de la formation dans les affleurements côtiers et de l'arrière-pays (Rioult, 1964 ; Pavia et Martire, 2010), n'est pas visible en raison de l'érosion quaternaire. La description suivante comprend les caractéristiques lithologiques des couches et se réfère en particulier aux ammonites avec valeur biochronostratigraphique importante (taphorecords avec fossiles resédimentés RS ou réélaborés RL), qui indiquent directement ou indirectement le temps de chaque événement sédimentaire.

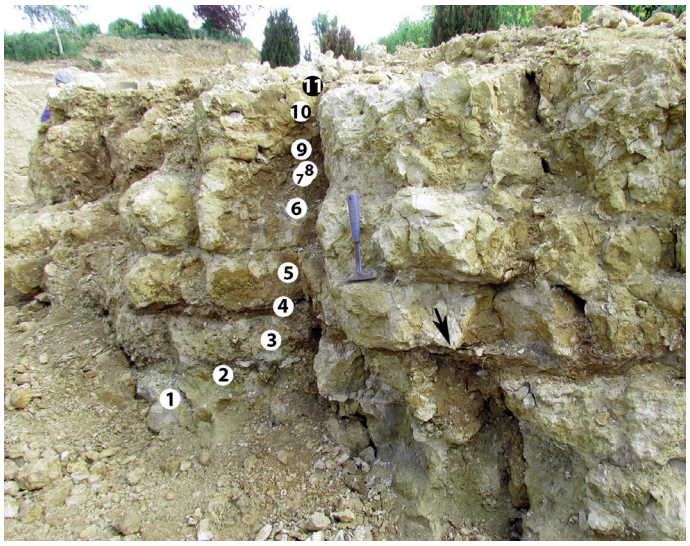

Figure. 3 - Succession des couches 1-11 dans la tranchée ouverte sur le terrain des anciens bureaux de Les Fours à Chaux de Croisilles. Présence de fissures verticales dont le remplissage par de sédiments vaseux quaternaires s'étend au niveau de la couche argileuse 4 (flèche) suite à la tension dynamique dérivée de la tectonique locale. Le marteau recouvre l'unité 5/6 et est posé sur le toit de la couche 4. Les couches 12-14 affleurent sur la surface subhorizontale du chantier, et ne peuvent pas être mises en évidence dans la figure.

Figure 3 - The succession of beds 1-11 in the trench opened on the site of the former offices of Les Fours à Chaux at Croisilles. Vertical cracks are observed and are filled with colluvial, muddy sediments extending into the clayey bed 4 (arrow) under dynamic strain derived from the local tectonics. The hammer is in front of unit 5/6 and lies on the top of bed 4. Beds 12-14 outcrop on the planar surface just above the wall, and cannot be marked in the picture.

COUCHE 1 (minimum 30 cm, fig. 4)

Seul le sommet de la Formation de la Malière a été mis au jour. Il s'agit d'un mudstone-wackestone gris avec spicules d'éponges et grains glauconieux ; des lithoclastes phosphatés sont présents. La surface supérieure est érosive et creusée par des trous profonds correspondant aux ouvertures de terriers du type *Thalassinoides* (Fürsich, 1971). La surface supérieure de la couche et les parois des trous sont colorées par des croûtes glauconieuses verdâtres.

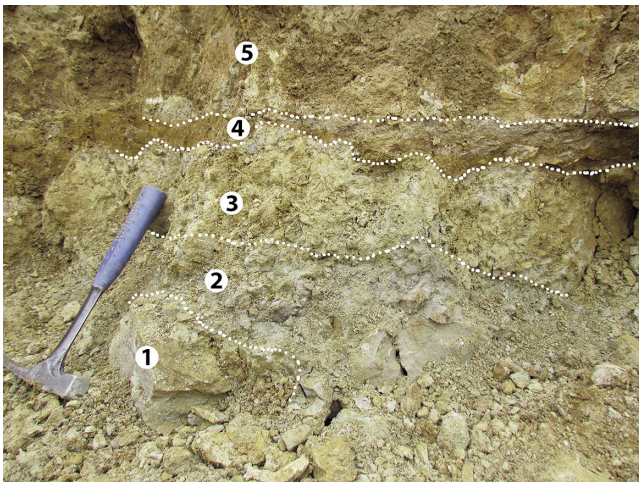

Fig. 4 - Couches 1-5. Notez la texture grumeleuse de la couche 3 et la variation d'épaisseur du niveau plus argileux 4.

Fig. 4 - Beds 1-5. Note the lumpy texture of bed 3 and the variation in thickness of the clayey bed 4.

- RL-1 : rares exemplaires réélaborés (RL-1) du genre *Euhoploceras* connu de la partie supérieure du Chrone à Discites à la base du Chrone à Laeviuscula.

Biochronostratigraphie : référence indirecte à la moitié supérieure de la Zone à Laeviuscula.

COUCHE 2 (7-30 cm, fig. 4)

La couche est mince et le remplissage sédimentaire des trous au sommet de la Malière se réfère à la Couche Verte. Le sédiment est un floatstone blanchâtre à verdâtre, largement supporté par une matrice contenant des cailloux perforés, phosphatés et glauconitisés, remaniés des calcaires de la Formation Malière. La moitié supérieure de la couche est constituée d'une marne calcaire riche en intraclastes encroutés d'oxydes de fer.

Les fossiles sont fréquents. Les moules internes de bivalves endobiontes sont des éléments resédimentés qui représentent la colonisation post-sédimentaire des sédiments vaseux. Toutes les ammonites sont des moules internes fragmentés et réélaborés. Trois taphorecords ont étés reconnus :

- RL-2 : *Witchellia romanoides* de la partie inférieure du Chrone à Laeviuscula ;
- RL-3 : *Fissilobiceras fissilobatum* et *Bradfordia praeradiata* de la partie supérieure du Chrone à Laeviuscula ;
- RL-4 : Sonniniidae (*Pelekodites* sp., juveniles de *Sonninia* sp.) et Otoitidae (*Emileia* sp., *Otoites* sp.) du Chrone à Propinquans.

Biochronostratigraphie : référence indirecte à la Zone à Propinquans.

COUCHE 3 (7-11 cm, fig. 4)

Wackestone bioclastique rosâtre-brunâtre à petites oolithes ferrugineuses (0,2 mm) disposées en nuages entre les lithoclastes de la Malière et les intraclastes à oolithes ferrugineuses qui déterminent une texture grumeleuse. La limite inférieure est ondulée et bien marquée sur une croûte phosphatée. Les fossiles sont limités à des fragments d'ammonites réélaborées et indéterminables.

Biochronostratigraphie : référence indirecte à la partie supérieure de la Zone à Propinquans.

COUCHE 4 (4-10 cm, fig. 3 et 4)

Niveau argileux brun à petites oolithes ferrugineuses (0,2-0,3 mm) avec des lentilles de wackestone rosâtre. La limite inférieure est nette, ondulée sur la couche 3, tandis que la supérieure montre une continuité horizontale. La

variation d'épaisseur peut s'expliquer par l'activité tectonique qui a agrandi l'espace au-dessus de la couche 3, avec remplissage de sédiments vaseux dérivés des fissures verticales (fig. 3). Des rostres de bélemnites sont présents.

- RL-5 : des moules internes d'ammonites sonniniidées sont attribuables au Chrone à Propinquans.

Biochronostratigraphie: référence indirecte au passage entre les zones à Propinquans et Humphriesianum.

COUCHE 5 (21 cm, fig. 4)

De packstone à wackestone bioclastique rose-brun avec des oolithes ferrugineuses de diamètre variant de 0,2 à 0,5 mm disposées en nuages entre des figures de bioturbation. La limite inférieure est nette tandis que la supérieure est ondulée par compaction. Les ammonites sont rares, mais deux taphorecords ont étés reconnus :

- RS-1 : *Dorsetensia romani* de la base du Chrone à Humphriesianum ;
- RL-6 : *Dorsetensia liostraca* se référant au passage entre les chrones à Propinquans et Humphriesianum.

Biochronostratigraphie : référence directe à la partie inférieure de la Zone à Humphriesianum, Sous-zone à Romani.

UNITÉ 5/6 (2-5 cm)

Horizon discontinu constitué par un wackestone gris-brunâtre avec oolithes ferrugineuses de diamètre moyen de 0,5 mm. Les limites inférieure et supérieure sont mal définies. On observe une structure interne par pseudolamination possiblement due à un stress dynamique (friction) lié à l'activité tectonique.

COUCHE 6 (24 cm, fig. 5)

Packstone bioclastique blanchâtre avec oolithes ferrugineuses très fines (0,1 mm) dispersées. La limite supérieure est ondulée avec une surface durcie. L'association fossile correspond à deux taphorecords : un RL à ammonites et un RS avec des brachiopodes *Sphaeroidothyris globisphaeroidalis* de petite taille et des éléments resédimentés d'ammonites :

- RS-2 : *Chondroceras evolvescens*, *C. gervillii* et *Poecilomorphus cycloïdes* indicatives de la partie inférieure du Chrone à Humphriesianum. À ces taxons s'ajoute un exemplaire de ?*Stemmatoceras* sp. nov. 1 ;
- RL-7 : la base de la couche a délivré deux exemplaires de ?*Stemmatoceras* sp. nov. 2.

Biochronostratigraphie: référence directe au sommet de la Sous-zone à Romani, Horizon à Gervillii (Rioult *et al.*, 1997).

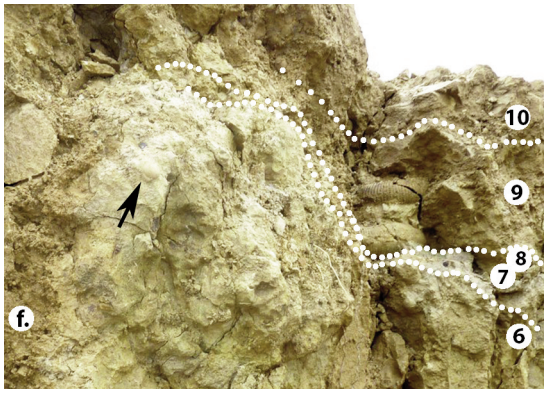

Figure 5 - Concentration d'ammonites stéphanocératidés dans la couche 9. La position horizontale est occasionnelle et d'autres exemplaires sont disposés dans toutes les directions y compris les verticales (voir fig. 6). À la marge gauche de l'image on note une fissure verticale remplie par un sédiment vaseux colluvial (f.). La flèche signale un exemplaire de *Chondroceras evolvescens* typique de la couche 6.

Figure 5 - Concentration of stephanoceratid ammonites in bed 9. This horizontal bedding is casual and other fossils show all positions up to vertical (see Fig. 6). In the left margin of the picture there is a vertical crack filled with muddy colluvial sediment (f.). The arrow indicates a specimen of Chondroceras evolvescens typical of bed 6.

COUCHE 7 (0-7 cm, fig. 5)

Wackestone rose-brun avec oolithes ferrugineuses de diamètre variant de 0,2 mm à 0,4 mm et intraclastes fréquents encroutés d'oxydes de fer. La limite inférieure est nette sur la surface durcie de la couche 6, tandis que la limite supérieure est mal définie à cause de la compaction. Les fossiles sont limités à des brachiopodes *Sphaeroidothyris globisphaeroidalis* resédimentés de petite taille.

Biochronostratigraphie : référence indirecte à la partie moyenne de la Zone à Humphriesianum.

COUCHE 8 (0-7 cm, fig. 5)

Packstone sans intraclaste avec oolithes ferrugineuses de petite taille (0,2 mm) dispersées. Aucun fossile n'a été observé.

Biochronostratigraphie : référence indirecte à la partie moyenne de la Zone à Humphriesianum.

COUCHE 9 (2-20 cm, fig. 5 et 6)

Packstone bioclastique rouge-brun avec oolithes ferrugineuses de diamètre variant de 0,1 mm à 0,4 mm, grains glauconieux diffus et intraclastes centimétriques souvent encroutés d'oxydes de fer. La limite inférieure est érosive sur les couches 6, 7 ou 8 et présente des enduits verdâtres sur les moules internes d'ammonites. Les fossiles sont remaniés et présentent les positions les plus variées (pouvant atteindre la verticale), probablement du fait des processus d'érosion, de transport et de dépôt dans un

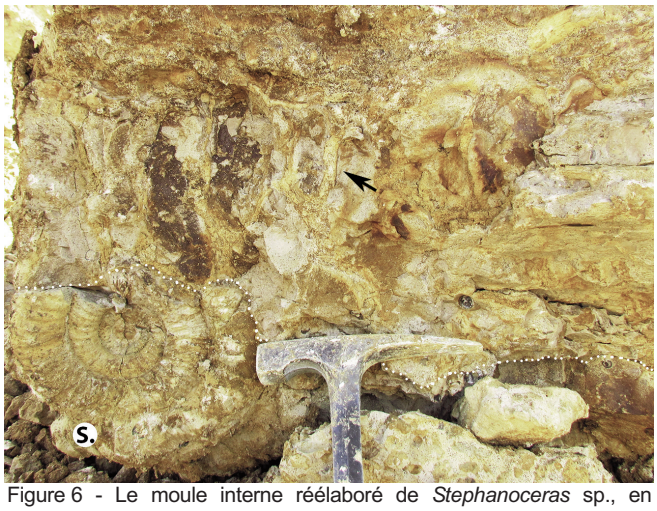

Figure 6 - Le moule interne réélaboré de *Stephanoceras* sp., en position verticale dans la couche 9 (S.) est coupé par la surface d'érosion à la base de la couche 10 (ligne pointillé). Le dépôt calcaire de la couche 9 est creusé par des terriers subverticaux (ichnogenre *Arenicolites* : flèche) (voir fig. 7).

Figure 6 - The surface below the layer 10 (dotted line) cuts the reelaborated internal mould of Stephanoceras sp. lying in vertical position into bed 9 (S.). Subvertical burrows (ichnogenus Arenicolites) extend into bed 10 (arrow).

régime turbulent (« tempête onshore », tel que décrit par G. Pavia (1994) dans le Bajocien côtier de Sainte-Honorine-de-Pertes). Les bivalves endobiontes sont des fossiles resédimentés et reflètent une colonisation post-sédimentaire d'un substrat incohérent. Des brachiopodes *Sphaeroidothyris globisphaeroidalis* de taille moyenne sont aussi communs. Les ammonites sont conservées sous forme de moules internes concrétionnels sans coquille ; elles appartiennent à deux taphorecords réélaborés :

- RL-8 : les taxons d'ammonites se rapportent à deux sous-chrons différents : *Poecilomorphus cycloides*, *Stephanoceras brodiaei*, *Chondroceras* sp. de la partie inférieure du Chrone à Humphriesianum, Sous-chrone à Romani ; *Oppelia subradiata*, *Stephanoceras bigoti*, *S. humphriesianum*, *S. mutabile*, *Itinsaites* sp. de la partie moyenne du Chrone à Humphriesianum, Sous-chrone à Umbilicum ;
- RL-9 : *Lokuticeras tenuicostatum*, *Teloceras (T.) blagdeniforme*, T. *(Paviceras) hoffmanni*, *Normannites* sp. se rapportent à la partie supérieure du Chrone à Humphriesianum, Sous-chrone à Blagdeni.

Biochronostratigraphie : référence indirecte au sommet de la Zone à Humphriesianum.

COUCHE 10 (16-18 cm, fig. 5-8)

Le lithofaciès est un packstone gris avec oolithes ferrugineuses dispersées. Les limites, aussi bien l'inférieure subhorizontale que la supérieure, sont érosives. Au sommet, des terriers en « U » creusent le substrat et sont remplis par un sédiment provenant de la couche sus-jacente. La conservation des traces n'est pas optimale, néanmoins, l'absence de lame (« spreite », Bromley, 1996) à l'intérieur suggère qu'il s'agit de l'ichnogenre *Arenicolites*. Les fossiles sont représentés par des bivalves endobionts, des bélemnites et le brachiopode *Sphaeroidothyris globisphaeroidalis* de grande taille ; par contre les ammonites sont plus rares et réunies dans deux taphorecords :

- RS-3 : associés aux brachiopodes et bivalves on observe des éléments resédimentés de *Caumontisphinctes nodatus* et *C. aplous*, typiques de la base du Chrone à Niortense. De grands exemplaires de *Teloceras coronatum* et *T. banksi* sont également observés ; la deuxième espèce est fréquente au sommet de la couche où les moules internes sont coupés par la surface d'érosion au-dessous du niveau suivant ;
- RL-10 : deux exemplaires réélaborés de *Leptoshinctes festonensis* représentent un taxon dimorphique caractéristique du sommet du niveau à Humphriesianum (Pavia et Zunino, 2012).

Biochronostratigraphie : référence directe à la base de la Zone à Niortense, en particulier à la partie supérieure de la Sous-zone à Banksi.

COUCHE 11 (0-2 cm, fig. 7 et 8)

Cette unité stratigraphique est discontinue ; elle est constituée par un packstone jaunâtre à fines (0,1-0,2 mm) oolithes ferrugineuses qui recouvre la surface érodée de la couche 10. Le même lithofaciès, avec quelques oolithes ferrugineuses, remplit les terriers subverticaux de l'ichnogenre *Arenicolites* qui creusent la couche 10. Les ammonites sont réélaborées avec deux taphorecords :

- RL-11 : moules internes de *Caumontisphinctes aplous* réélaborés de la couche 10 et indicatifs de la partie inférieure du Chrone à Niortense ;

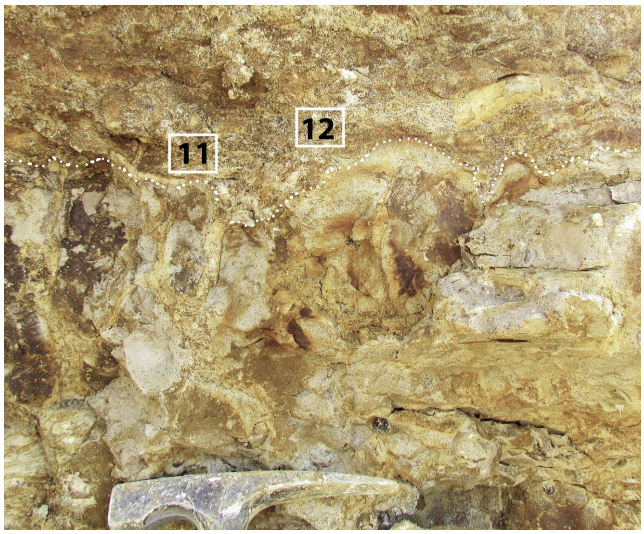

Figure. 7 - Terriers, mal conservés, de l'ichnogenre *Arenicolites* dans la couche 10. Au-dessus de la limite érosive, on peut reconnaître soit la mince couche 11 limitée dans une poche, soit la couche 12 surmontant directement un « relief » de la couche 10.

Figure 7 - Burrows of ichnogenus Arenicolites *into bed 10. The burrows are badly preserved. Above the erosional limit, one can distinguish both the thin bed 12 limited to a pocket and bed 12 overlying directly a "relief" of bed 10.*

Figure. 8 - Détail de la fig. 7. Remplissage d'un terrier d'*Arenicolites* par le packstone du niveau 10. La plupart des oolithes ferrugineuses sont concentrées à l'entrée du terrier (flèche) suite au tamisage du sédiment.

Figure 8 - Detail of fig. 7. Filling in the Arenicolites-type burrows of bed 10. Most of the Fe-ooids are concentrated at the burrow entrance (arrow) as the result of sediment sieving.

- RL-12 : exemplaires fragmentaires de *Strenoceras* sp., *Orthogarantiana* sp. et *Spiroceras* sp. indicatifs de la partie moyenne-supérieure du Chrone à Niortense.

Biochronostratigraphie : l'épisode de bioturbation dans le sédiment consolidé du niveau 10 peut être attribué à la partie moyenne de la Zone à Niortense. Par contre le remplissage des terriers et le dépôt au-dessus de la couche 11 sont attribuables indirectement au passage des zones à Niortense et à Garantiana.

COUCHE 12 (7-10 cm, fig. 7 et 9)

La limite inférieure est nette sur base de faciès. Le lithofaciès est un packstone bioclastique brun avec oolithes ferrugineuses de taille moyenne (0,3-0,4 mm) uniformément réparties. La couche contient des intraclastes à oolithes ferrugineuses de taille pluricentimètrique et des oncoïdes recouverts par des croûtes d'oxyde de fer similaires à ceux décrits dans les affleurements de la cote de Bayeux (Fürsich, 1971 ; Palmer et Wilson, 1990 ; Préat *et al.*, 2000). L'association fossilifère est riche en brachiopodes et mollusques (voir Annexe) avec de grands exemplaires bivalves de l'espèce *Ctenostreon hector*. Les ammonites sont moins communes ; toutes sont réélaborées et peuvent être réunies dans deux taphorecords :

- RL-13 : moules internes avec coquille pseudomorphique de *Caumontisphinctes bifurcus*, *Strenoceras* sp. et *Orthogarantiana* sp. Ces taxons peuvent être rapportés à la moitié supérieure du Chrone à Niortense ;
- RL-14 : les coquilles néomorphiques et les moules internes sont recouverts par une patine ferrugineuse. Les moules internes sont formés d'un packstone à oolithes ferrugineuses plus denses issu de la matrice encaissante. L'association correspond au Chrone à Garantiana par la présence de *Oppelia subcostata*, *Garantiana garantiana*, *G. platyrrima*, *Pseudogarantiana* sp., *Bajocisphinctes bajocensis*, *B. mouterdei*, *Microbajocisphinctes densicostatum* et *M. robustum*.

Biochronostratigraphie : référence indirecte à la moitié supérieure de la Zone à Garantiana.

COUCHE 13 (12-13 cm, fig. 9 et 10)

Wackestone et packstone similaires aux précédents avec lithoclastes et oncoïdes limonitisés. Le diamètre des oolithes ferrugineuses est plus grand que précédemment (0,4-0,7 mm) et les oolithes sont distribuées sous forme de nuages. La limite inférieure est nette sur la surface de la couche sous-jacente et soulignée par une croûte ferrugineuse irrégulière d'épaisseur inframillimétrique (fig. 9). L'association des ammonites est riche et enregistre la première occurrence du couple dimorphique *Parkinsonia-Durotrigensia*. Trois taphorecords peuvent être distingués :

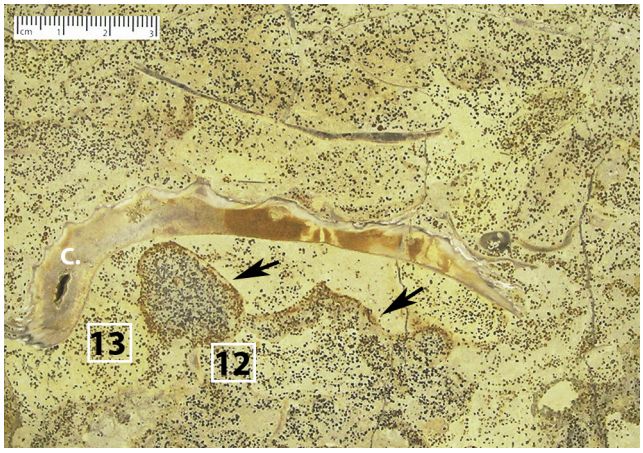

Figure. 9 - Limite érosive entre les couches 12 et 13 soulignée par une croûte ferrugineuse (flèches). La couche 12 est caractérisée par la concentration d'oolithes ferrugineuses ; son sommet est plus foncé du fait de processus de phosphatation. Dans la couche 13, on note la section d'une grande coquille néomorphique du bivalve *Ctenostreon hector* (d'Orbigny) avec recristallisation en quartz (Q.).

Figure 9 - The erosive surface at the boundary between the layers 12 and 13 is highlighted by a ferruginous crust. Layer 12 is characterized by the concentration of ferruginous ooids; its top is dark as a result of phosphatisation. In the layer 13 there is a large section of the neomorphic shell Ctenostreon hector *(d'Orbigny) with quartz recrystallization (Q.).*

- RS-4 : moules internes de la même composition que la matrice encaissante sans patine ferrugineuse. Les taxons suivants caractérisent l'association et sont indicatifs de la partie inférieure-moyenne du Chrone à Parkinsoni, entre les sous-chrones à Acris et Densicosta : *Paragarantiana* sp, *Durotrigensia pseudoferruginea*, *Parkinsonia rarecostata*, *Bigotites* sp., *Prorsisphinctes glyphus*.
- RL-15 : les fossiles sont fracturés, voire usés, et les moules internes sont désarticulés à la surface des cloisons. Les espèces *Garantiana tetragona*, *Pseudogarantiana* sp., *Prorsisphinctes pseudomartinsi* se rapportent à la partie supérieure du Chrone à Garantiana, Sous-chrone à Tetragona (fig. 10).

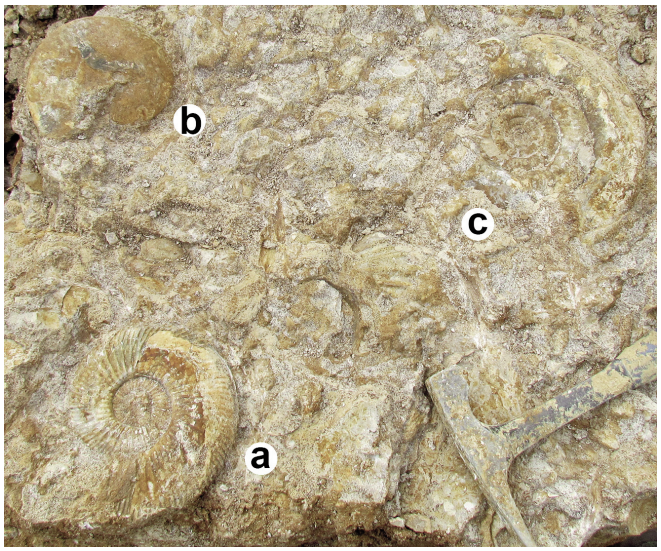

Figure. 10 - Fossiles réélaborés dans le packstone à oolithes ferrugineuses et intraclastes encroûtés d'oxydes de fer à la base de la couche 13. Les ammonites sont représentées par des exemplaires fragmentaires de *Garantiana tetragona* (a), *Oppelia* sp. (b) et *Prorsisphinctes pseudomartinsi* (c).

Figure 10 - Reelaborated fossils into the packstone with Fe-ooids and intraclasts encrusted by Fe-oxides at the base of bed 13. The ammonites are represented by fragmentary internal moulds of Garantiana tetragona *(a),* Oppelia subcostata *(b), and* Prorsisphinctes pseudomartinsi *(c).*

- RL-14b : la conservation des fossiles est la même que celle observée pour le taphorecord RL-14 de la couche sous-jacente et pour cela on adopte ici la même indication numérique bien que l'indication biochronologique soit différente. Les ammonites significatives sont *Oxycerites* aff. *plicatellus*, *Parkinsonia subarietis*, *Prorsisphinctes meseres* de la base du Chrone à Parkinsoni, Sous-chrone à Acris.

Biochronostratigraphie : référence directe à la partie inférieure-moyenne de la Zone à Parkinsoni.

COUCHE 14 (minimum, 20 cm)

Wackestone et packstone foncés avec de grandes oolithes ferrugineuses reparties en nuages et concentrées dans des figures de bioturbation. Aucun intraclastes n'a été observé. De rares ammonites resédimentées (RS-5) et mal conservées (grandes *Durotrigensia* sp.) peuvent rapporter la couche à la partie moyenne de la Zone à Parkinsoni, Sous-zone à Densicosta.

La coupe s'arrête avec la couche 14. Des affleurements discontinus dans le secteur signalent la présence de la Formation du Calcaire à Spongiaires du sommet du Bajocien. Plus importants sont les affleurements de la Formation du Calcaire de Caen, dont les roches carbonatées à nodules siliceux sont couvertes par la végétation bien qu'elles aient été intensivement exploitées dans les siècles précédents pour alimenter les fours à chaux.

4. CONCLUSIONS

4.1. Synthèse des données et comparaisons

La succession lithostratigraphique et les associations fossiles échantillonnées dans la formation de l'Oolithe ferrugineuse de Bayeux (OfB) dans le secteur de Les Fours à Chaux, entre Croisilles et Les Moutiers-en-Cinglais, montrent des évidences de condensation taphonomique et stratigraphique dont témoignent des processus récurrents de réélaboration taphonomique et la présence de discontinuités stratigraphiques. Les épisodes d'arrêt de sédimentation, soulignés par ces discontinuités, sont particulièrement visibles au niveau des surfaces d'érosion entre les couches 1-2, 6-7, 8-9, 10-11, 12-13. À cet égard, les moules internes des ammonites, en tant que pièges sédimentaires, aident à la reconstitution de la succession des événements sédimentaires bajociens de la région : les niveaux pas représentés dans la colonne stratigraphique, éliminés par érosion, peuvent être révélés par la matrice des moules internes réélaborés dans les niveaux sus-jacents et élargissent les données du registre stratigraphique (Pavia et Martire, 1997).

La figure 11 donne la succession lithostratigraphique du Bajocien de Croisilles selon la biostratigraphie et par rapport au schéma biochronostratigraphique des zones et sous-zones (fig. 11, gauche) ; les discontinuités validées affectant la succession à oolithes ferrugineuses sont mises en évidence par la distinction entre couches, dans un cadre biostratigraphique (fig. 11, centre). L'analyse taphonomique détaillée est résumée dans le schéma biochronologique (fig. 11, droite) qui représente la séquence des événements sédimentaires validés par la succession registratique dont les taphorecords sont resédimentés (RS) ou réélaborés (RL). On peut observer que les unités paléontologique augmentent considérablement le registre stratigraphique et géologique, indiquant l'existence d'au moins 30 événements productifs dont 14 sont matérialisés par les couches et les taphorecords resédimentés connexes et 16 sont enregistrés par les taphorecords d'ammonites réélaborés.

Les paramètres génétiques, mis en évidence par les associations mixtes et la succession registratique, excluent d'autres mécanismes tels qu'un faible taux d'accumulation de sédiments. En d'autres termes, il est question de condensation stratigraphique (*sensu* Gómez et Fernández-López, 1994) et non de condensation sédimentaire, comme cela a parfois été suggéré (par exemple M. Rioult *et al.*, 1991). La limite nette et érosive des quelques couches et la fréquence des éléments réélaborés indiquent que ces dépôts carbonatés étaient contrôlés par des processus d'érosion et de remaniement.

La succession de Les-Fours-à-Chaux présente de fréquentes traces de bioturbation et de rares ichnofossiles. Parmi ces derniers, citons les *Thalassinoides* dans la couche 1, déjà décrits en 1971 par F. Fürsich au sommet de

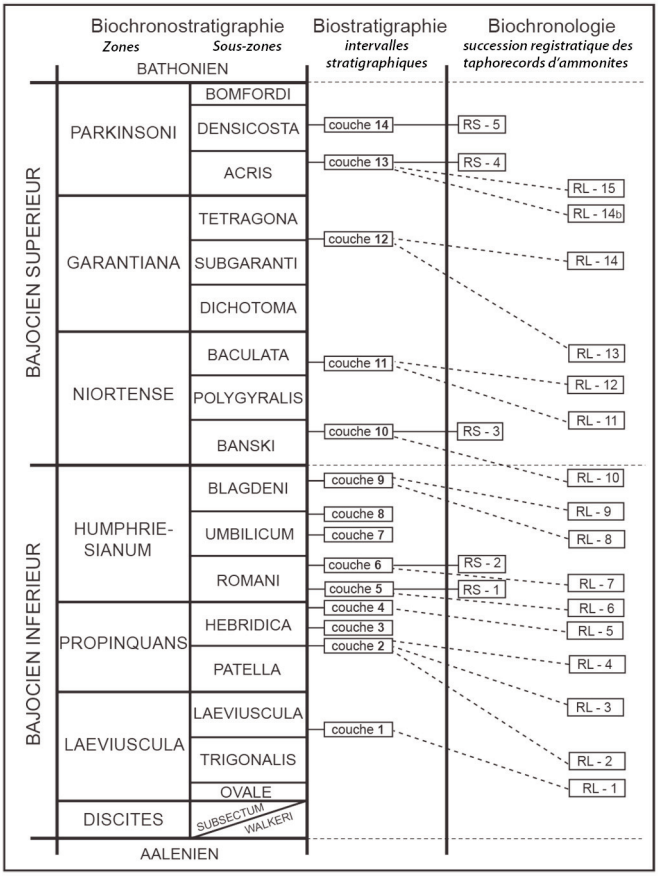

Figure 11 - Succession biochronologique et succession registratique du Bajocien de la coupe exposée à Les Fours à Chaux dans la commune de Croisilles. Chaque taphorecord (RS ou RL) correspond à un événement sédimentaire ordonné selon la signification biochronologique de ses fossiles et du critère de biostratigraphie indirecte discuté dans le texte. La colonne de gauche énumère les divisions biochronostratigraphiques standards (zones et sous-zones) utilisées pour l'Étage Bajocien du secteur ouest-Téthysien du Sous-Royaume Méditerranéen-Caucasien.

Figure 11 - Biochronologic and registratic successions of the Bajocian section exposed at Les Fours à Chaux in the administrative territory of Croisilles. Each taphorecord (RS or RL) corresponds to a sedimentary event ordered according to the biochronological significance of its fossils and to the indirect biostratigraphic evidence discussed in the text. The left column lists the biochronostratigraphic divisions (zones and subzones) formally used for the Bajocian Stage in the West Tethyan sector of the Sub-Mediterranean-Caucasian Subrealm.

la Formation de la Malière dans la coupe côtière de Sainte-Honorine-des-Pertes, et des terriers verticaux en « U » dans la couche 10. Le sédiment étant grossier dans cette couche, la conservation des traces est mauvaise. Il pourrait cependant s'agir de *Diplocraterion*, mais cet ichnogenre se caractérise par la présence d'une lame intermédiaire, ou « spreite » (Bromley, 1996), qui permettrait les déplacements verticaux de l'organisme nécessaires au maintien de la distance par rapport au fond marin (structures d'équilibre). Ici il n'y a pas de spreite visible, ce qui suggère qu'il s'agit plutôt de l'ichnogenre *Arenicolites* (Buatois et Mángano, 2011), terrier produit par des suspensivores comme les polychètes, les sipunculiens et les crustacés, dans des conditions d'eau bien oxygénée, riche en particules organiques brassées par les courants et la houle (Buatois et Mángano, 2011).

Le milieu est donc de haute énergie. Le substrat doit être induré (firmground) et lié à des phénomènes de sédimentation ralentie, voire intermittente (Bromley, 1975). *Arenicolites* caractérise, entre autre, l'ichnofaciès à *Glossifungites*, typique d'une faible profondeur (avant-côte ou shoreface) dans la partie interne d'une plateforme carbonatée. Lorsqu'il est associé à d'autres ichnogenres, par exemple *Thalassinoides* (voir couche 1), le milieu de dépôt est généralement considéré comme plus profond, situé en zone un peu plus distale de la plate-forme (Buatois et Mángano, 2011).

La Formation OfB à Les Fours à Chaux de Croisilles présente une bonne corrélation avec celle décrite à Maizet (Pavia *et al.*, 2013), surtout dans sa partie inférieure : les couches 3-9 à Croisilles sont équivalentes aux couches 3-5 de Maizet et peuvent être rapportées au membre du Conglomérat de Bayeux des successions côtières. La succession des couches est un peu plus épaisse à Croisilles, en raison de la présence des couches 3-4 où s'observe le passage entre les zones à Propinquans et à Humphriesianum, mais la succession registratique et la séquence biochronologique des deux localités sont équivalentes. Une autre différence concerne la couche 10, qui ne montre pas la concentration de rostres de bélemnites et de moules internes de stéphanocératidés présents à la base de la couche 7 de Maizet.

La partie supérieure de l'OfB enregistre des différences plus importantes : les couches de 11 à 13 représentent seulement 25 cm d'épaisseur à Croisilles, alors que le même intervalle à Maizet (couches 8-12), sur base de la succession registratique et de la séquence biochronologique, totalise au moins 70 cm. Une telle situation s'expliquerait par une réélaboration plus intense des fossiles de Les Fours à Chaux et une réduction générale de la fréquence d'ammonites. Par contre, les fossiles d'organismes benthiques, comme les bivalves, les gastéropodes et les brachiopodes, sont plus abondants. Ces différences dans les associations fossiles reflètent un contrôle écologique sur des paléocommunautés caractéristiques des zones proximales/internes de la plate-forme (Gabilly et Rioult, 1974), là où les organismes nectoniques n'étaient qu'occasionnellement présents ou importés par dérive nécroplanctonique, à la différence des dépôts des secteurs septentrionaux de Maizet, de Feuguerolles et des environs de Bayeux qui correspondent à la partie distale d'une rampe carbonatée (Préat *et al.*, 2000). À cet égard, il convient de mentionner que les roches métamorphiques du secteur oriental du Massif Armoricain n'affleurent qu'à quelques kilomètres à l'Ouest du secteur de Les Fours à Chaux.

Le lithofaciès Fe-oolithique et la condensation stratigraphique observés à Les Fours à Chaux montrent des similitudes avec les successions contemporaines du Dorset, en Angleterre méridionale (Callomon et Cope, 1995). Une équivalence intéressante existe avec la coupe de Oborne Wood à Sherborne, décrite en détail par C.-F. Parsons

(1976) (voir également Callomon et Chandler, 1990 ; Chandler *et al.*, 2013) : les niveaux 4b, 4c et 5b de Oborne Wood contiennent des associations à ammonites dont la composition taxonomique est très semblable à celles des couches, respectivement 7, 10 et 11, de Les Fours à Chaux. Cependant, les associations d'ammonites du Bajocien du Dorset, et de Oborne Wood en particulier, ont été analysées selon des critères méthodologiques différents de ceux utilisés ici (Chandler *et al.*, 2001) ; il est donc difficile de comparer les ensembles de couches et les associations fossiles du Bajocien du Dorset avec celles du Calvados, où la condensation taphonomique est bien documenté (Pavia *et al.*, 2013 et références dans cet article).

4.2. Patrimoine géologique

La coupe de la Formation OfB à Les Fours à Chaux revêt une importance particulière pour la taxonomie des ammonites, car elle peut être considérée comme la localité-type de l'exemplaire décrit par A. d'Orbigny (1846 à 1842-1851, n° 163, p. 396, pl. 132, fig. 1-2 : *Ammonites Blagdeni* Sowerby) et dont la position stratigraphique n'a jamais été déterminée. Afin de souligner l'importance de cette coupe, notons que l'échantillonnage détaillé a fourni un exemplaire resédimenté provenant de la base de la couche 6 (fig. 12), dont la morphologie et la matrice du moule interne sont équivalentes à ceux de l'exemplaire de A. d'Orbigny. Cet exemplaire et les formes voisines réélaborées dans la même couche ont étés provisoirement déterminés en nomenclature ouverte (respectivement ?*Stemmatoceras* sp. nov. 1 et ?*Stemmatoceras* sp. nov. 2) en attente des résultats d'une étude détaillée (Pavia et Fernandez-Lopez, soumis).

Un deuxième aspect de notre travail concerne l'intérêt historique et patrimoniale de la localité de Les Fours à Chaux. Le secteur entre Les Moutiers-en-Cinglais et Croisilles est connu pour sa succession lithostratigraphique (Hérault, 1832 ; Dufrenoy et de Beaumont, 1848) et pour ses fossiles conservés dans les collections historiques, telles celles du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris. Aujourd'hui, toutes les anciennes carrières d'extraction du Calcaire de Caen, et en partie du Calcaire à Spongiaires, sont abandonnées et les affleurements recouverts. Néanmoins, au XIXe siècle, la base du plan d'extraction de ces carrières devait être localisée au niveau de la Formation de la Malière, ce qui facilitait la récolte paléontologique de la Formation OfB. L'affleurement de l'OfB décrit ici représente le seul encore connu dans cette région historique et mérite par conséquent une attention particulière, en tant que témoin significatif, dans un projet de valorisation du patrimoine géologique.

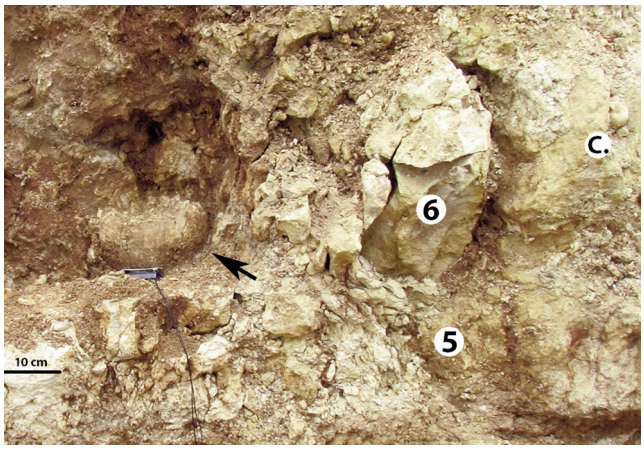

Figure. 12 - Exemplaire de grande taille de ?*Stemmatoceras* nov. sp. 1 à la base de la couche 6 (flèche). L'espèce est attribuable à la Sous-zone à Romani de la partie inférieure de la Zone à Humphriesianum. Malheureusement, le fossile est situé au niveau d'une faille verticale, ce qui a empêché la récolte de l'exemplaire entier ; seul le tour externe est conservé. La couche 6 renferme plusieurs exemplaires de *Chondroceras evolvescens* (C.).

Figure 12 - Large specimen of ?Stemmatoceras *nov. sp. 1 at the base of bed 6 (arrow). The species is referable to the Romani Subzone in the lower part of the Humphriesianum Zone. Unfortunately, the fossil lies in correspondence with a vertical fault so that it was very difficult to collect it: only the external tour is presently preserved. Resedimented specimens of* Chondroceras evolvescens *(C.) are common in bed 6.*

REMERCIEMENTS

Ce travail a été favorisé par la disponibilité du personnel de la Maison de Retraite de Croisilles, sur le terrain des anciens bureaux de Les Fours à Chaux. Mr. le Professeur Jacques Avoine, de l'Université de Caen, et Président de l'Association Patrimoine Géologique de Normandie, a participé à une réunion sur le terrain dédié à la coupe de Les Fours à Chaux et à son intérêt dans le cadre de la valorisation des sites géologiques du Calvados ; nous le remercions pour sa disponibilité. Nous aimerions remercier le Comité de Rédaction de la revue de Géologie de la France, et en particulier Denis Thieblemont qui a lu en détail le texte définitif en apportant de corrections significatives : à lui notre reconnaissance. Les conseils des rapporteurs (Alain Préat, Bruxelles, et Sixto Fernandez-Lopez, Madrid) ont été particulièrement utiles pour l'amélioration du texte.

BIBLIOGRAPHIE

Bromley R.-G. (1975) - Trace fossils at omissions surfaces. In: Frey R.-W. (Ed.), The Study of Trace Fossils. A Synthesis of Principles, Problems, and Procedures in Ichnology. New York, Springer-Verlag, p. 399-428.

Bromley R.-G. (1996) - Trace fossils. Biology, Taphonomy and Applications. London, Chapman & Hall, 361 p.

Buatois L.-A., Mangano M.-G. (2011) - Ichnology. Organism-substrate interactions in space and time. Cambridge University Press, 358 p.

Callomon J.-H., Chandler R.-B. (1990) - A review of the ammonite horizons of the Aalenian-Lower Bajocian Stages in the Middle Jurassic of southern England. In: Cresta S., Pavia G. (Eds.), *Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia*, 40, p. 85-111.

Callomon J.-H., Cope J.-C.-W. (1995) - The Jurassic Geology of Dorset. In: Taylor P.-D. (Ed.), Field Geology of the British Jurassic. *The Geological Society of London*, 286 p.

Chandler R.-B., Dietze V., Sommer V., Gauthier H. (2001) - Remarks on the Astarte Bed (Upper Bajocian, Middle Jurassic) of Burton Bradstock (Dorset, Southern England). *Hantkeniana*, 3, p. 5-23.

Chandler R.-B., Whicher J., Grulke W., Cowap A. (2013) - The Middle Jurassic stephanoceratid ammonite *Kumatostephanus* from Dorset and Somerset, UK, and its evolution. *Geobios*, 46, p. 285-297.

Dufrenoy A., Beaumont (de) E. (1848) - Explication de la carte géologique de la France. Ministère des Travaux Publics, 2 vols.

Fernández-López S.-R. (1986) - Sucesiones paleobiológicas y sucesiones registráticas (nuevo conceptos paleontológicos). *Revista Española de Paleontología*, 1, p. 29-45.

Fernández-López S.-R. (1987) - Unidades registráticas, biocronología y geocronología. *Revista Española de Paleontología*, 2, p. 65-85.

Fernández-López S.-R. (1991) - Taphonomic concepts for a theoretical biochronology. *Revista Española de Paleontología*, 6, p. 37-49.

Fernández-López S.-R. (1995) - Taphonomie et interprétation des paléoenvironnements. In Gayet M., Courtinat B. (Eds.), First European Palaeontological Congress, Lyon 1993. *Geobios*, M.S. 18, 1, p. 137-154.

Fernández-López S.-R. (2007) - Ammonoid taphonomy, palaeoenvironments and sequence stratigraphy at the Bajocian/Bathonian boundary on the Bas Auran area (Subalpine Basin, SE France). *Lethaia*, 40, p. 377-391.

Fernández-López S.-R. (2011a) - Taphonomic analysis and sequence stratigraphy of the *Albarracinites* beds (lower Bajocian, Iberian Range, Spain). An example of shallow condensed section. *Bulletin de la Société géologique de France*, 182, p. 405-415.

Fernández-López S.-R. (2011b) - Ejemplos de ammonites reelaborados. Examples of reelaborated ammonites. *Reduca* (Geología), Serie Paleontología, 3, p. 1-54.

Fernández-López S.-R., Gómez J.-J. (1990) - Utilidad sedimentológica y estratigráfica de los fósiles reelaborados. In : Fernández-López S. (coord.), Comunicaciones de la Reunión de Tafonomía y Fosilización. Departamento Paleontología, Univ. Complutense Madrid, p. 125-144.

Fernández-López S.-R., Pavia G. (2015) - Mollistephaninae and Frebolditinae, new subfamilies of Middle Jurassic stephanoceratid Ammonoidea. *Paleontologische Zeitschrift*, doi 10.1007/s12542-015-0263-7.

Fürsich F. (1971) - Hartgründe und Kondensation im Dogger von Calvados. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*, Abhandlungen, 138, p. 313-342.

Gabilly J., Rioult M. (1974) - Le Bajocien inférieur et le Toarcien supérieur sur les bordures du Massif Armoricain. Limite entre le Jurassique inférieur et moyen. Problème de l'Aalénien, Colloque du Jurassique à Luxembourg 1967. *Mémoires du Bureau des Recherches Géologiques et Minières*, 75, p. 385-396.

Gauthier H., Rioult M., Trévisan M. (1996) - Répartition biostratigraphique des ammonites dans l'Oolithe ferrugineuse de Bayeux (Bajocien) à Feuguerolles-sur-Orne (Calvados). Éléments nouveaux pour une révision des Garantianinae. *Géologie de la France*, 2, p. 27-67.

Gómez J.-J., Fernández-López S.-R. (1994) - Condensation processes in shallow platform. *Sedimentary Geology*, 92, p. 147-159.

Haug E. (1907) - Traité de Géologie, II. Les périodes géologiques. Armand Colin, Paris, 467 p.

Hérault M. (1832) - Tableau des terrains du département du Calvados. Caen, 192 p.

MNHN (2015) - /institution/mnhn/collection/f/item/list ?full_text=croisilles, 61 documents.

Orbigny (d') A. (1842-51) - Paléontologie française, Terrains Jurassiques. Masson, Paris, 642 p.

Orbigny (d') A. (1849-52) - Cours élémentaire de Paléontologie et de Géologie stratigraphique. Masson, Paris, 2 volumes.

Orbigny (d') A. (1850-52) - Prodrome de Paléontologie stratigraphique universelle des animaux mollusques et rayonnés. Masson, Paris, 3 volumes.

Parsons C.-F. (1976) - A stratigraphic revision of the humphriesianum/subfurcatum Zone rocks (Bajocian Stage, Middle Jurassic) of Southern England. *Newletters on Stratigraphy*, 5, p. 114-142.

Palmer T.-J., Wilson M.-A. (1990) - Growth of ferrugineous oncoliths in the Bajocian (Middle Jurassic) of Europa. *Terra Nova*, 2, p. 142-147.

Pavia G. (1994) - Taphonomic remarks on d'Orbigny's type-Bajocian (Bayeux, west France). In: Cresta S., Pavia G. (Eds.), Proceedings of 3rd International Meeting on Aalenian and Bajocian Stratigraphy. *Miscellanea Servizio Geologico Nazionale*, 5, p. 93-111.

Pavia G., Defaveri A., Maerten L., Pavia M., Zunino M. (2013) - Ammonite taphonomy and stratigraphy of the Bajocian at Maizet, South of Caen (Calvados, NW France). *Comptes Rendus Palevol*, 12, p. 137-148.

Pavia G., Fernandez-Lopez S. (soumis) - *Pseudoteloceras*, a new stephanoceratid genus (Ammonitida) of the lower Humphriesianum Zone (Lower Bajocian, Middle Jurassic). *Proceedings of the Geologists' Association*.

Pavia G., Martire L. (1997) - The importance of taphonomic studies on biochronology: examples from the European Middle Jurassic. *Cuadernos de Geología Ibérica*, 23, p. 153-181.

Pavia G., Martire L. (2010) - Indirect biostratigraphy in condensed successions: a case history from the Bajocian of Normandy (NW France). *Volumina Jurassica*, 7, p. 67-76.

Pavia G., Zunino M. (2012) - Ammonite assemblages and biostratigraphy at the lower to upper Bajocian boundary in the Digne area (SE France). Implications for the definition of the late Bajocian GSSP. *Revue de Paléobiologie*, vol. spéc. 11, p. 205-227.

Préat A., Mamet B., De Ridder C., Boulvain F., Gillan D. (2000) - Iron bacterial and fungal mats, Bajocian stratotype (Mid-Jurassic, northern Normandy, France). *Sedimentary Geology*, 137, p. 107-206.

Rioult M. (1964) - Le stratotype du Bajocien. 1er Colloque du Jurassique à Luxembourg 1962. *Comptes Rendus et Mémoires de l'Institut Grand-Ducal Luxembourg*, 1964, p. 239-258.

Rioult M., Contini D., Elmi S., Gabilly J. (1997). Bajocien. In: Cariou E., Hantzpergue P. (Eds.), Biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen. *Bulletin du Centre des Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine*, Mémoire 17, p. 41-53.

Rioult M., Dugué O., Du Chéne J., Ponsot C., Fily G., Moron J.-M., Vail P.-R. (1991) - Outcrop sequence stratigraphy of the Anglo-Paris Basin, Middle to Upper Jurassic (Normandie, Maine, Dorset). *Bulletin du Centre des Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine*, Mémoire 15, p. 101-194.

ANNEXE

Liste non exhaustive des fossiles reconnus à la section de Les Fours à Chaux de Croisilles. La liste est limitée aux brachiopodes, bivalves et gastéropodes des couches 12 et 13. Bajocien supérieur.

Non-exhaustive list of the fossils identified from the section of Les Fours à Chaux at Croisilles. The list is limited to brachiopods, bivalves and gastropods of beds 12 and 13, Upper Bajocian.

BRACHIOPODES

Acanthothyris spinosa (Linné, 1767) ; *Aulacothyris carinata* (Lamarck, 1819) ; *Aulacothyris meriani* (Oppel, 1856) ; S*phaeroidothyris globisphaeroidalis* (Buckman, 1917) ; *Sphenorhynchia plicatella* (Sowerby, 1825).

MOLLUSQUES BIVALVES

Astarte elegans (Sowerby, 1816) ; *Anisocardia* sp. ; *Camptonectes* (c.) *auritus* (Schlotheim, 1813) ; *Coelastarte excavata* (Sowerby, 1819) ; *Ctenostreon hector* (d'Orbigny, 1850) ; *Eopecten velatus* (Goldfuss, 1853) ; *Eopecten spondyloïdes* (Roemer, 1836) ; *Myophorella signata* (Agassiz, 1841) ; *Myoconcha crassa* (Sowerby, 1824) ; *Neocrassina obliqua* (Lamarck, 1819) ; *Oxytoma inequivalvis* (Sowerby, 1819) ; *Pholadomya lirata* (Sowerby, 1827) ; *Plagiostoma tenuistriata* (Munster, 1836) ; *Pseudotrapezium cordiforme* (Deshayes, 1830) ; *Trigonia elongata* (Sowerby, 1823) ; *Trigonopsis similis* (Sowerby, 1827).

MOLLUSQUES GASTÉROPODES

Amberleya goniata (Deslongchamps, 1860) ; *Ampullospira* (*Pictivia*) *bajocensis* (d'Orbigny, 1852) ; *Amphitrochus duplicatus* (Sowerby, 1817) ; *Ataphrus* (*A.*) *acis* (d'Orbigny, 1853) ; *Ataphrus* (*A.*) *acmon* (d'Orbigny, 1853) ; *Bathrotomaria scrobinula* (Deslongchamps, 1849) ; *Cerithium comma* (Münster, 1844) ; *Dicroloma lorieri* (d'Orbigny, 1852) ; *Lamelliphorus ornatissimus* (d'Orbigny, 1850) ; *Leptomaria amoena* (Deslongchamps, 1848) ; *Leptomaria aghatis* (Deslongchamps, 1849) ; *Obornella granulata* (Deslongchamps, 1848) ; *Pleurotomaria armata* Münster, 1840 ; *Pleurotomaria ornata* (Deslongchamps, 1848) ; *Pleurotomaria proteus* (Deslongchamps, 1849) ; *Pseudomelania lineata* (Sowerby, 1818) ; *Pyrgotrochus elongatus* (Sowerby, 1818) ; *Pyrgotrochus elongatus morphe patulus* (Deslongchamps, 1849).