



Paléontologie générale (Taphonomie et fossilisation)
Formation et signification paléo-environnementale
des concentrations coquillières : exemples de l'Ordovicien
de Sardaigne et du Dévonien du Massif armoricain

Arnaud Botquelen ^{a,*}, Alfredo Loi ^b, Rémy Gourvenec ^a,
Francesco Leone ^b, Marie-Pierre Dabard ^c

^a UMR 6538 « Domaines océaniques », Paléontologie, UFR Sciences et Techniques, université de Bretagne occidentale,
6, av. Victor-Le-Gorgeu, C.S. 93837, 29238 Brest cedex 03, France

^b Dipartimento di scienze della Terra, Università degli studi di Cagliari, via Trentino 51, 09127, Cagliari, Italie

^c Géosciences, UMR 6118, campus de Beaulieu, 35042 Rennes cedex, France

Reçu le 26 avril 2004 ; accepté après révision le 29 juin 2004

Presented by Jean Dercourt

Résumé

L'étude des concentrations coquillières de dépôts de plate-forme terrigène de l'Ordovicien supérieur de Sardaigne et du Dévonien inférieur du Massif armoricain, en considérant les différents critères taphonomiques et leur répartition au sein des séquences génétiques, a permis la caractérisation de deux types de concentrations (types A et B) et l'élaboration d'un modèle expliquant leur mise en place. La formation des concentrations coquillières est contrôlée par la dynamique des tempêtes (facteurs autocycliques) et par les variations du niveau marin relatif (facteurs allocycliques). Les concentrations fines de tempêtes (type A) se forment préférentiellement lors de phases de chute du niveau marin à très haute fréquence, durant lesquelles le taux de sédimentation est modéré à fort. Les concentrations composites de tempêtes (Type B) s'individualisent lors des périodes d'élévation du niveau de la mer à très haute fréquence, caractérisées par des apports sédimentaires réduits. **Pour citer cet article :** *A. Botquelen et al., C. R. Palevol 3 (2004).*

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

Abstract

Formation and palaeoenvironmental significance of shellbeds: examples from the Ordovician of Sardinia and the Devonian of Armorican Massif. The study of shellbeds in the terrigenous platform deposits of the Upper Ordovician of Sardinia and Lower Devonian of the Armorican Massif, considering the taphonomic signatures and their repartition at the scale of a genetic sequence, allows us to distinguish two types of shellbeds (types A and B) and to suggest a genetic model for their origin. Shellbeds formation is related to autocyclic and allocyclic constraints. Type A shellbeds are associated with high or moderate supply episodes during sea level falls, while type B shellbeds are related to low supply episodes during sea-level rises. **To cite this article:** *A. Botquelen et al., C. R. Palevol 3 (2004).*

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

* Auteur correspondant

Adresse e-mail : Arnaud.botquelen@univ-brest.fr (A. Botquelen).

Mots clés : Concentrations coquillières ; Séquences génétiques ; Tempêtes ; Paléozoïque ; Sardaigne ; Massif armoricain ; France

Keywords : Shellbeds; Genetic sequences; Storms; Palaeozoic; Sardinia; Armorican Massif; France

Abridged English version

1. Introduction

Shellbeds are dense accumulations of organic remains set in variable amounts of matrix. Taphonomic, sedimentologic and stratigraphic criteria are used to define them.

Shellbeds furnish information about the formational processes and the palaeo-environmental dynamics. Their formation and distribution have been the subject of numerous investigations since the pioneer work of Johnson [13]; Fürsich [6], Fürsich and Aberhan [7], Fürsich and Oschmann [8], Kidwell [14], etc. More recently, several studies have shown that shellbeds position seems to be linked to the system tract architecture [1,4,15,18].

The study was carried out along the Punta Pedrona section of the Upper Ordovician of Sardinia and the Seillou section of the Lower Devonian of the Armorican Massif.

The Punta Pedrona section shows the Portixeddu Formation, of Caradocian–Ashgillian age [19,22], constituted by fine-grained sandstone, siltstone and mudstone. The Portixeddu Formation was laid down in a storm-dominated shelf [22,23]. Benthic fauna was rich and diversified [11]. Four sections of the Lower Devonian of Armorican Massif, showing the Le Faou and Reun ar C'hrank Formations of Praguian–Emsian age [20,21], have also been studied. The Le Faou Formation is mainly constituted by sandstone and siltstone and the Reun ar C'hrank Formation is characterised by siltstone. These formations, deposited in a storm-dominated shelf environment [10], contain a rich and diversified benthic fauna [20,21]. Sedimentologic and taphonomic analyses have been carried out in order to propose a genetic model for shellbeds, taking into account autocyclic and allocyclic constraints on a terrigenous platform.

2. Methodology

Kidwell et al. [17] proposed a descriptive classification for shellbeds based on taxonomic composition, structure, geometry and internal complexity of these concentrations. Later, they proposed a genetic classification

of shellbeds with three end-member datasets: biologic, sedimentologic and diagenetic. It became clear that several processes have influenced the formation of shellbeds [24]. We use the descriptive method of Kidwell et al. [17] to study the bioclastic deposits under consideration here.

3. Description of shellbeds

Two types of shellbeds (Types A and B) have been distinguished in the Ordovician of Sardinia as well as in the Devonian of the Armorican Massif, showing that general features of shellbeds can be identified for different age.

Type-A shellbeds are lenticular and made of only one coquina level, which thickness depends of the size of bioclasts (a few millimetres to 1 cm). The shells are concentrated parallel to the bedding without imbrication and are scattered in a sandy to silty matrix. The density of the skeletal remains is weak to moderate (shellbeds are generally loosely packed). The fossil associations may be monotypic or polytypic. Organisms are preserved as internal or external moulds, and are often disarticulated, articulated specimen being very scarce. Neither size sorting nor shape-sorting have been observed. Fragmentation, erosion and abrasion are variable.

Type-B shellbeds represent the thickest concentrations (> 3 cm) and single shellbeds have a constant thickness. These shellbeds are composed of several superposed coquina levels, amalgamated or intercalated with thin terrigenous layers. In these shellbeds, the density of bioclasts is variable and the orientation of shells varies from concordant to isotropic. A sandy, silty or marly matrix is generally present. The bioclastic associations are monotypic to polytypic and the organisms are usually disarticulated. Neither size sorting nor shape sorting have been noted. The organisms are preserved as moulds. Bioerosion traces can be observed on internal moulds of brachiopods implying post-mortem bioactivity.

4. Genesis and distribution of shellbeds in terrigenous platform deposits

In a context of terrigenous shelf environment dominated by storm wave action, sedimentary deposits get

organized in sequences of different orders and stacking in relation with the eustatic signal. In the genetic sequences, which are the elementary deposits of the sedimentary record [12], type-A shellbeds, related with hummocky cross stratification, are present in their lower part, while type-B shellbeds are present in their uppermost part.

The sea-level falls are characterized by high sedimentation rates, inducing the scattering of the skeletal remains by the terrigenous supply. Under the influence of high-energy storm waves, the bioclasts undergo local reworking leading to the formation of type-A shellbeds (Fig. 1). These shell deposits are then rapidly covered by terrigenous particles in suspension and other fine material carried in by storm-related and/or nepheloid currents.

Type-B shellbeds (Fig. 1) are deposited under hydrodynamic conditions similar to those producing storm-related shellbeds, but with a deficit in terrigenous supply mainly related to the sea-level rise. This deficit explains the lack of thick terrigenous intercalations between storm-related shellbeds. The amalgamation of several coquina storm beds results in such shell accumulations. They can thus be regarded as condensed beds generated by a decrease or an interruption of the terrigenous supply. This period increases the time of residence of the shells on the sea floor, promoting boring activities. Bioerosion is a useful marker of condensation [3].

In these type-B shellbeds, taphonomic feedback has been noted [16]. Shell material constitutes islands where organisms of hard substrata can develop. Taphonomic feedback favours the development of hard substrata benthos and reduces the efficiency of soft substrata organisms. At the Punta Pedrona section, in some storm composite shellbeds, a sheet of bryozoans can be observed at the base of the concentration where it constitutes a hard substratum for some epibenthic communities (brachiopods, cornulitids, cystoids, etc.). Shellbeds are supports as well as shelters for hard substrata benthic organisms. Type-B shellbeds can be defined as amalgamate of several palaeocommunities that serve in turn of substratum.

Faunal associations present in type-A shellbeds are often characterised by low-to-moderate degrees of fragmentation and disarticulation; organisms are not in biologic position but constitute a shell pavement. These associations reflect minimal time averaging of individuals. They do not represent snapshot of ancient com-

munities because the shells buried during the last storm are found together with dead skeletal material winnowed by this storm. Direct dating of modern marine shellbeds show shells ages range to thousand years [5], demonstrating that, if the processes generating shellbeds is immediate, the shelly organisms do not have the same age. Faunal associations present in type-B shellbeds show variable degrees of fragmentation and disarticulation and reflect the amalgamation of several generations. They are moderately time-averaged. Fossil associations, in type-A and type-B shellbeds, are taphocenoses constituted of organisms living in the same habitat and are time-averaged over a period of relative environmental stability. Faunal associations should be good sources of palaeoecological information, notably about palaeocommunity dynamics.

5. Conclusion

This study of Ordovician and Devonian shellbeds results in the building of a genetic model for shellbeds. Shellbed formation is linked to storm processes. Differences between the two types are related to variations of the sedimentation rate, controlled by sea-level fluctuations. Type-A shellbeds are associated to important supply episodes during sea-level fall. Faunal associations present in these shellbeds are lowly time-averaged. Type-B shellbeds can be associated to episodes of condensation in very high-frequency eustatic signal. Faunal associations present in these bioclastic deposits are moderate time-averaged. Type-A and type-B shellbeds present some similarities with some Jurassic shellbeds [8,9] related with autocyclic and allocyclic factors. Further investigations are necessary to clearly identify the shellbed modes of formation in different environmental contexts at different geologic periods.

1. Introduction

Les concentrations coquillières sont des accumulations denses de restes d'organismes, avec ou sans matrice terrigène. Les critères utilisés afin de les définir sont: les critères taphonomiques (composition taxonomique, orientation et taille des coquilles), les critères sédimentologiques (nature et granulométrie de la matrice, densité des coquilles, structures sédimentaires associées), les critères stratigraphiques (géométrie des concentrations coquillières, microstratigraphie interne, types de contact avec les couches environnantes).

L'ensemble de ces critères permet d'identifier les processus à l'origine des concentrations et donne des informations sur l'histoire des coquilles avant et pendant la genèse des accumulations coquillières. Les concentrations coquillières fournissent des renseignements sur les paléoenvironnements, comme le montrent de nombreux travaux depuis l'étude pionnière de Johnson [13]. Parmi les principales contributions, nous pouvons citer les travaux de Fürsich [6], Fürsich et Aberhan [7], Fürsich et Oschmann [8] et Kidwell [14]. Récemment, des équipes de chercheurs ont entrepris d'expliquer la distribution et la signification des concentrations coquillières au sein de séquences de dépôts [1,4,15,18].

Une étude a été menée sur l'Ordovicien sarde (coupe de Punta Pedrona, formation de Portixeddu) et sur le Dévonien armoricain (coupes de Seillou, de l'île d'Arun, de Landévennec et de Reun Ar C'hrank, formation du Faou et de Reun ar C'hrank), afin d'expliquer la genèse et la répartition des concentrations coquillières dans un contexte de plate-forme terrigène, à l'échelle des séquences de dépôts de très haute fréquence.

La formation de Portixeddu, d'âge Caradoc–Ashgill [19,22], est constituée par des grès fins, des siltites et des argilites de couleur gris sombre. Les faciès représentés dans cette formation indiquent des environnements de dépôts marins, dominés par les tempêtes et situés entre les parties proximale et distale de l'*offshore* supérieur [22,23]. La formation de Portixeddu contient une faune benthique riche et diversifiée [11].

La formation du Faou, d'âge Praguien–Emsien inférieur, est caractérisée par une alternance de grès, siltites et argilites. La formation de Reun ar C'hrank, d'âge Emsien inférieur, est à dominante silteuse. Les faciès représentés dans ces deux formations indiquent des environnements de dépôts marins dominés par une dynamique oscillatoire et situés dans le domaine de l'*offshore* supérieur et le début de l'*offshore* inférieur [10]. Cette formation contient une faune benthique riche et diversifiée [20,21].

2. Méthodologie

Kidwell et al. [17] ont proposé une méthode de description des concentrations coquillières basée sur la composition taxonomique, la structure et la géométrie des concentrations. Les concentrations peuvent être qualifiées de monotypiques (un seul taxon dominant),

paucitypiques (quelques taxons dominants) ou polytypiques (nombreux taxons), fournissant ainsi des informations sur la paléoécologie. La structure des concentrations permet de décrire l'agencement des coquilles et les conditions hydrodynamiques de dépôt. La géométrie fournit des renseignements sur l'organisation tridimensionnelle des concentrations : chenaux, pavés, lentilles, bancs, nids, etc.

Par la suite, ces auteurs ont mis en place une classification génétique articulée autour de trois pôles : un pôle biologique, un pôle sédimentologique et un pôle diagénétique. Les concentrations sont le plus souvent d'origine mixte, comme l'a souligné Tsujita [24]. En effet, la concentration de coquilles est un phénomène complexe dont le mécanisme causal n'est pas unique, mais résulte de l'intervention d'événements multiples. C'est en se basant sur cette méthode de description [17] que nous avons abordé l'étude des concentrations coquillières.

3. Description des concentrations coquillières

Les concentrations coquillières ont des épaisseurs très variables, infracentimétriques à pluridécimétriques. Deux types de concentrations (types A et B) ont été distingués aussi bien dans les terrains ordoviciens de Sardaigne que dans les terrains dévoniens du Massif armoricain, ce qui tend à montrer que des caractéristiques globales aux concentrations coquillières peuvent être dégagées pour des périodes d'âges différents.

Les concentrations coquillières de type A correspondent aux concentrations les plus fines. Elles se présentent sous forme de lits coquilliers monotones à matrice gréseuse à silteuse, dont l'épaisseur, de quelques millimètres à 1–2 cm, dépend de la taille des organismes. Par exemple, à Punta Pedrona, les concentrations à *Longvillia mediterranea*, brachiopode à coquille de grande taille, présentent une épaisseur de 0,5 à 1 cm. Dans la rade de Brest, les concentrations à chonétides, à coquille de taille petite à moyenne, n'excèdent guère 0,1 cm.

Ces concentrations se présentent le plus souvent en lentilles dont l'extension latérale est de quelques mètres. La densité fossilifère est le plus souvent modérée à faible : le pourcentage de bioclastes en section varie de 5 à 15%. Les organismes se disposent de manière concordante et ne présentent pas d'imbrications, c'est-à-dire que les coquilles forment le plus souvent une

surface coquillière. Les associations fossiles sont monotypiques à polytypiques (voir Botquelen [2] pour la désignation et la description des associations). Les organismes sont préservés à l'état de moules internes et externes. Ils sont le plus souvent désarticulés, exceptionnellement complets. Aucun classement par taille ou par forme n'a été observé. Les degrés de fragmentation, érosion et abrasion sont variables.

Les concentrations coquillières de type B regroupent les concentrations les plus épaisses (> 3 cm) qui forment généralement des strates continues. La matrice qui emballe les coquilles peut être de nature variable : gréseuse, silteuse ou calcaro-marneuse. Ces strates sont constituées de plusieurs niveaux coquilliers superposés, sont plus ou moins amalgamées, et sont parfois séparées par de fines passées terrigènes (la microstratigraphie interne est complexe). Dans ces strates, la densité des coquilles varie de 15 à 55%. Les organismes se disposent d'une manière concordante à isotrope. Les assemblages fossilifères sont monotypiques ou polytypiques [2]. Les organismes sont le plus souvent désarticulés ; parmi les brachiopodes, quelques individus sont préservés avec les deux valves en connexion. Dans l'ensemble des coupes étudiées, les cystoïdes sont désarticulés, les spécimens complets sont rares. Les crinoïdes sont conservés sous forme de columnales et les trilobites sont désarticulés. Aucun classement par taille ou par forme n'a été observé. L'ensemble des organismes est préservé à l'état de moules internes et externes, ce qui témoigne, comme dans le cas des concentrations coquillières de type A, d'une intense dissolution liée aux déséquilibres régnant pendant l'histoire biostratigraphique des coquilles. La fragmentation est variable : d'individus non fragmentés à des bioclastes indéterminables. Dans certains cas, l'abrasion est importante et les détails de l'ornementation ou les empreintes musculaires ne sont plus visibles. Des moules internes de brachiopodes peuvent présenter des traces de bioérosion indiquant une activité biologique *post-mortem*. Certaines de ces concentrations présentent des traces de bioturbation (terriers verticaux ou parallèles à la surface).

4. Genèse et distribution des concentrations coquillières dans un contexte terrigène

4.1. Le modèle de formation

Dans un contexte de plate-forme terrigène dominé par la dynamique des tempêtes, les dépôts s'organisent

en séquences d'ordres différents, emboîtées selon les différentes fréquences du signal eustatique (20 000, 100 000, 400 000 ans, etc.). Les séquences génétiques (ou séquences à très haute fréquence) sont les plus petites unités de dépôt individualisables à l'échelle de l'affleurement [12]. Ces séquences grano- et strato-croissantes sont la manifestation d'un cycle complet de variation du niveau relatif de la mer. Les concentrations coquillières de type A, associés aux litages obliques en mamelons, se trouvent dans la partie inférieure des séquences génétiques étudiées dans ce travail, tandis que les concentrations coquillières de type B constituent le sommet de ces séquences (Fig. 1).

Pendant les périodes de chute du niveau marin, le taux d'apport sédimentaire important sur la plate-forme entraîne une dispersion du matériel coquillier au sein des sédiments. Lors d'une tempête de forte énergie, l'augmentation de la vitesse orbitale des vagues mobilise le fond marin et les coquilles subissent des remaniements locaux aboutissant à des concentrations coquillières de type A disposées à la surface de réactivation des tempêtes (Fig. 1).

Par la suite, la décroissance de la vitesse orbitale des vagues engendre le dépôt de sédiments fins, par décanation. Le matériel en suspension, associé à d'autres particules fines apportées par les courants de fond, vient recouvrir rapidement les concentrations de coquilles. Les concentrations coquillières issues de tempêtes successives sont donc séparées les unes des autres par une épaisseur de sédiments relativement importante.

Les concentrations coquillières de type B se forment dans les mêmes conditions hydrodynamiques que les concentrations de type A, mais dans un contexte de faibles apports sédimentaires lors des phases de montée du niveau marin (Fig. 1).

Dans ce contexte, les dépôts coquilliers issus des tempêtes successives sont séparés ou non par de minces intercalations silteuses. Comme dans le premier cas, lors des tempêtes, le fond marin est soumis à des conditions hydrodynamiques importantes et le matériel est mis en suspension. Le faible apport terrigène ne permet pas un recouvrement rapide des accumulations bioclastiques : les concentrations de coquilles de tempêtes vont s'amalgamer. La stabilité de l'interface eau/sédiment permet le développement des activités bioérosives, comme l'action perforante des bryozoaires cténostomes ou des vers perforants. La bioérosion

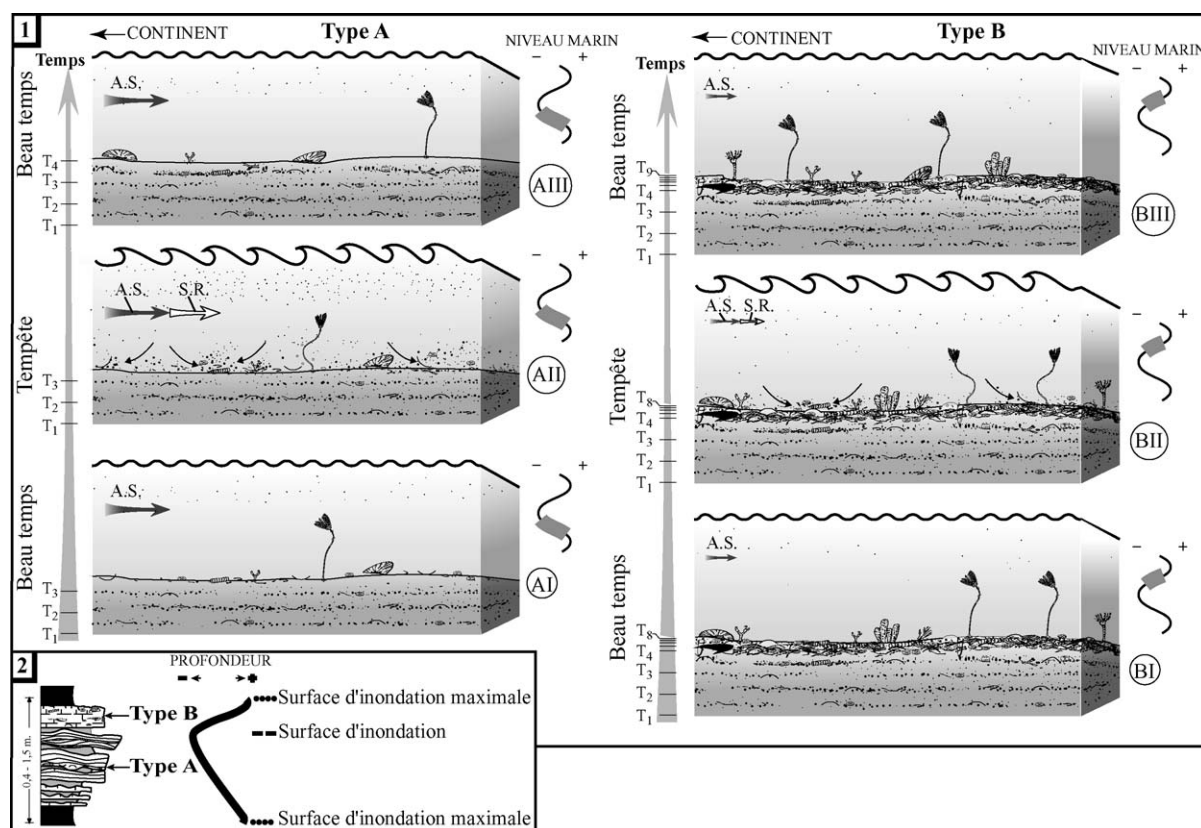


Fig. 1. Genèse des concentrations coquillières. (1) Les concentrations coquillières de type A se forment préférentiellement pendant les périodes de chute du niveau marin (AI–AIII), tandis que les concentrations coquillières de type B se développent plutôt lors des périodes de montée du niveau marin (BI–BIII). A.S. : apports sédimentaires ; S.R. : sédiments remobilisés ; T_x : incréments temporels constants. Modifié d'après Botquelen et al. [4]. (2) Position des concentrations coquillières de types A et B au sein d'une séquence génétique.

Fig. 1. Shellbeds genesis. (1) Development of type-A shellbeds during sea-level fall (AI–AIII) and development of Type B shellbeds during sea-level rise (BI–BIII). A.S.: sedimentary input; S.R.: winnowed sediment; T_x: constant time increments. After Botquelen et al. [4]. (2) Position of type-A and -B shellbeds at the genetic sequence scale.

est un indicateur de la stagnation à moyen ou long terme du matériel coquillier sur le fond [3]. Les concentrations coquillières de type B revêtent une signification allocyclique de niveaux condensés, en relation avec la montée rapide du niveau marin d'un cycle à très haute fréquence. Ces accumulations coquillières vont aussi être le siège du phénomène de rétroaction taphonomique [16].

Ainsi, les concentrations coquillières de type A se développent pendant les phases de chute du niveau marin avec un taux de sédimentation important, tandis que les concentrations coquillières de type B se mettent en place durant les périodes de montée du niveau marin s'accompagnant d'une réduction du taux de sédimentation.

4.2. La rétroaction taphonomique

Les débris coquilliers peuvent constituer, au sein de milieux à substrats plus ou moins meubles, des « îlots » qui permettent la mise en place des organismes benthiques de substrats durs. La rétroaction taphonomique facilite l'implantation d'organismes de substrats durs et inhibe le développement d'organismes de substrats meubles (épifaune et endofaune). À Punta Pedrona, nous avons noté plusieurs concentrations composites de tempêtes dont la base est constituée exclusivement par des bryozoaires branchus et massifs, auxquels succèdent des organismes benthiques fixés, tels que les brachiopodes, les cornulitides, les crinoïdes et les cystoïdes. Les bryozoaires ont pu se développer in situ

(action de bryozoaires vivants) sur des substrats durs ou bien être accumulés par l'action des tempêtes (bryozoaires morts). Ce tapis de bryozoaires a constitué par la suite un substrat de choix pour la colonisation du milieu par d'autres organismes benthiques fixés.

Les concentrations coquillières sur lesquelles se développent les organismes benthiques de substrats durs constituent non seulement des supports, mais aussi des zones de refuge et d'habitat relativement protégées, conditionnant l'installation des larves et, par la suite, le développement des populations. Les concentrations coquillières de type B constituent des amalgames de plusieurs communautés, dont les débris coquilliers servent à leur tour de substrat.

4.3. La condensation faunique

Les concentrations coquillières de types A et B se différencient par le degré de condensation faunique des associations d'organismes qui les constituent.

Les associations que l'on trouve au sein des concentrations coquillières de Type A sont constituées par des organismes dont la fragmentation est relativement faible. La proportion des individus articulés est la plus élevée. Les organismes ne sont généralement pas en position biologique : ils sont concentrés et constituent des surfaces coquillières. Ces associations sont caractérisées par une faible condensation faunique. Elles ne correspondent cependant pas à des « instantanés » de communautés qui ont vécu à un moment t , puisqu'elles sont constituées, d'une part, d'organismes qui ont été effectivement enfouis lors d'une tempête et, d'autre part, du matériel coquillier remanié post mortem par cette tempête. Une étude utilisant les méthodes de datations au carbone sur des coquilles actuelles, menée par Flessa et al. [5] a montré que le spectre de variation des âges des coquilles, à la surface d'une accumulation, est de l'ordre de mille ans. Cette étude démontre que si l'événement à l'origine de la formation d'une accumulation de coquilles est instantané, l'assemblage coquillier de cette concentration est constitué d'entités d'âges différents et donc partiellement condensé.

Les associations que l'on trouve au sein des concentrations coquillières de type B présentent un matériel coquillier aux degrés de désarticulation et de fragmentation importants. La matrice emballant les fossiles est homogène. Les organismes contenus dans ces niveaux présentent les mêmes exigences écologiques, montrant

qu'ils appartiennent au même type d'habitat. Ces associations se caractérisent par une condensation faunique assez importante.

Les associations récoltées au sein des concentrations coquillières de types A et B sont des taphocénoses et représentent des assemblages intra-habitat. Les associations des concentrations coquillières de type B présentent un degré de condensation plus important par rapport à celles des concentrations coquillières de type A. Ces associations reflètent la dynamique d'organismes qui ont vécu dans un même habitat et apportent ainsi des informations sur le fonctionnement des communautés anciennes.

5. Conclusion

Cette étude avait pour objectif la proposition d'un modèle expliquant la genèse et la signification stratigraphique des concentrations coquillières dans un contexte de plate-forme terrigène, dominé par l'action des vagues de tempête. Ce modèle fait intervenir des facteurs autocycliques (les tempêtes) et allocycliques (les variations du niveau marin relatif).

Pendant les épisodes de chute du niveau marin, les concentrations coquillières sont principalement des concentrations coquillières de type A. Ces concentrations sont séparées les unes des autres par une épaisseur importante de matériel terrigène, consécutive à un taux de sédimentation important. Les associations contenues dans ces concentrations présentent généralement une faible condensation faunique. Lors des périodes de remontée du niveau marin (taux de sédimentation faible), ce sont des concentrations coquillières de type B qui se mettent en place, en relation avec la dynamique de tempêtes et la condensation. Les associations récoltées au sein de ces concentrations présentent un degré de condensation faunique relativement élevé. Ainsi, le processus à l'origine de la mise en place des accumulations coquillières est l'activité des tempêtes, tandis que l'abondance et la répartition des concentrations sont contrôlées par les fluctuations des apports sédimentaires liées aux variations du niveau marin relatif.

Des études menées sur des séries jurassiques ont permis de mettre en évidence le rôle des tempêtes et des variations du niveau marin dans la formation d'accumulations coquillières [8,9].

Des investigations visant à comparer, de manière approfondie, les concentrations coquillières ordoviciennes et dévoniennes (ce travail) et les accumulations bioclastiques du Jurassique seraient intéressantes, afin d'éclaircir le rôle des processus générateurs des dépôts coquilliers dans des contextes environnementaux variés et à différentes époques du Phanérozoïque.

Remerciements

Cette étude représente une partie des résultats de la thèse d'université de l'un d'entre nous (A. Botquelen), réalisée en co-tutelle à l'université de Bretagne occidentale et à l'Università di Cagliari (Sardaigne) et financée par la région Bretagne.

Références

- [1] S.T. Abbott, Mid-cycle condensed shellbeds from mid-Pleistocene cyclothems, New Zealand: implications for sequence architecture, *Sedimentology* 44 (1997) 805–824.
- [2] A. Botquelen, Impact des variations eustatiques sur les assemblages benthiques à brachiopodes : l'Ordovicien sarde et le Dévonien ibéro-armoricain. (Paléoécologie – Taphonomie – Stratigraphie séquentielle – Systématique, thèse, université de Bretagne occidentale), Brest, 2003, 325 p.
- [3] A. Botquelen, E. Mayoral, Lower Devonian bioerosion activities in the 'Rade de Brest' (Armorican Massif), *Palaeontology* 2004 (sous presse).
- [4] A. Botquelen, A. Loi, M.-P. Dabard, F. Leone, R. Gourvenec, Genesis and significance of shellbeds in terrigenous platform deposits: an example from the Ordovician of Sardinia, in: A. Cherchi, C. Coradini, M.T. Putzu (Eds.), *Sardinia Fiel Trip – Palaeontology & Stratigraphy*, *Rend. Soc. Paleontol. Ital.* 1 (2002) 149–157.
- [5] K.W. Flessa, A.H. Cutler, K.H. Meldahl, Time and taphonomy: quantitative estimates of time-averaging and stratigraphic disorder in a shallow marine habitat, *Paleobiology* 19 (1993) 266–286.
- [6] F.T. Fürsich, Shell concentrations, *Eclog. geol. Helv.* 88 (1995) 643–655.
- [7] F.T. Fürsich, M. Aberhan, Significance of time averaging for paleocommunities analysis, *Lethaia* 23 (1990) 143–152.
- [8] F.T. Fürsich, W. Oschmann, Shell beds as tools in basin analysis: the Jurassic of Kachchh, western India, *J. Geol. Soc.* 150 (1993) 169–185.
- [9] J.-P. Garcia, B. Laurin, G. Sambet, Les associations de brachiopodes du Jurassique moyen du bassin de Paris : une échelle biochronologique ponctuée de niveaux-repères pour la contrainte des corrélations séquentielles à haute résolution, *Bull. Soc. géol. France* 167 (1996) 435–451.
- [10] F. Guillocheau, Stratigraphie séquentielle des bassins de plateforme : l'exemple dévonien armoricain, thèse d'État, université Louis-Pasteur, Strasbourg, 1990, 257 p.
- [11] W. Hammann, F. Leone, Trilobites of the post-Sardic (Upper Ordovician) sequence of southern Sardinia, *Beringeria* 20 (1997) 1–217.
- [12] P.W. Homewood, F. Guillocheau, R. Eschard, T.A. Cross, Corrélations haute résolution et stratigraphie génétique : une démarche intégrée, *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine* 16 (1992) 357–381.
- [13] R.G. Johnson, Models and methods for analysis of the mode of formation of fossil assemblages, *Geol. Soc. Am. Bull.* 71 (1960) 1075–1086.
- [14] S.M. Kidwell, The stratigraphy of shell concentrations, in: P.A. Allison, D.E.G. Briggs (Eds.), *Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record*, Plenum Press, New York, 1991, pp. 211–290.
- [15] S.M. Kidwell, Condensed deposits in siliciclastic sequences: expected and observed features, in: G. Einsele, W. Ricken, A. Seilacher (Eds.), *Cycles and events in stratigraphy*, Springer-Verlag, Berlin, 1991, pp. 682–695.
- [16] S.M. Kidwell, D. Jablonski, Taphonomic feedback: ecological consequences of shell accumulation, in: M.J.S. Tevesz, P.L. Mc Gall (Eds.), *Biotic interactions in recent and fossil benthic communities*, Plenum Press, New York, 1983, pp. 195–248.
- [17] S.M. Kidwell, F.T. Fürsich, T. Aigner, Conceptual framework for the analysis and classification of fossil concentrations, *Palaaios* 1 (1986) 228–238.
- [18] Y. Kondo, S.T. Abbott, A. Kitamura, P.J.J. Kamp, T.R. Naish, T. Kamataki, G.S. Saul, The relationship between shellbed type and sequence architecture: examples from Japan and New Zealand, *Sediment. Geol.* 122 (1998) 109–127.
- [19] R. Laske, T. Bechstädt, M. Boni, The Post-Sardic Ordovician series, in: T. Bechstädt, M. Boni (Eds.), *Sedimentological, stratigraphical and ore deposits field guides of the autochthonous Cambro-Ordovician of Southern Sardinia*, Servizio geologico nazionale, *Memorie descrittive della geologica d'Italia*, 1994, pp. 115–146.
- [20] J. Le Menn, P.-R. Racheboeuf, Brachiopodes Chonetacea et crinoïdes des formations du Faou et de Montguyon (Dévonien inférieur du Massif armoricain), *Ann. Soc. Géol. Nord* 4 (1976) 283–323.
- [21] J. Le Menn, Y. Plusquellec, P. Morzadec, H. Lardeux, IncurSION hercynienne dans les faunes rhénanes du Dévonien inférieur de la rade de Brest (Massif armoricain), *Palaeontographica A* 153 (1976) 1–61.
- [22] F. Leone, W. Hammann, R. Laske, E. Serpagli, E. Villas, Lithostratigraphic units and biostratigraphy of the post-Sardic Ordovician sequence in southwest Sardinia, *Boll. Soc. Paleontol. Ital.* 30 (1991) 201–235.
- [23] A. Loi, Sedimentological-petrographical study and paleogeographical approach of the Upper Ordovician of the central southern Sardinia, *Plinius* 9 (1993) 81–86.
- [24] C.J. Tsujita, The significance of multiple causes and coincidences in the geological record: from clam clusters to Cretaceous catastrophe, *Can. J. Earth Sci.* 38 (2001) 271–292.