

DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE ET CYCLES EUSTATIQUES DE HAUTE FRÉQUENCE DU « NIVEAU MAJEUR » DE MARHOUMA AU PASSAGE DÉVONIEN INFÉRIEUR - DÉVONIEN MOYEN DE LA SAOURA (SAHARA NORD-OUEST, ALGÉRIE).

Abdelkader OUALI MEHADJI*, Patrick RACHEBOEUF**, Serge ELMI***¹
et Larbi MEKAHLI****¹

RÉSUMÉ

Dans la Saoura, la coupe du « km 30 » expose un affleurement riche en faune benthique variée. Il s'agit du « banc coralligène » de Le Maître (1952) qui enregistre un des épisodes transgressifs du Dévonien.

L'utilisation du terme « coralligène » prête à confusion. En effet, Ce terme crée en 1883 par Marion pour caractériser un environnement qu'on pensait « générateur du corail rouge » est particulier à la Méditerranée. Le niveau de Marhouma n'y correspond ni par son contenu faunique ni par ses caractéristiques sédimentologiques (couches stratifiées, texture packstone bioclastique). Pour lever cette ambiguïté, nous proposons l'utilisation de la dénomination « niveau à Faune Benthique Variée (= FBV) » suivi du nom de la localité (= FBV de Marhouma).

En ce qui concerne la biostratigraphie, le « FBV de Marhouma » montre la succession de trois associations à brachiopodes dans la coupe du « km 30 » : association à *Alatiformia jaekeli* (Scupin), association à *Athyris (Athyris) concentrica* (Von Buch) et association à *Nucinelus orbignyianus* (Verneuil). La partie supérieure de cette dernière association pourrait marquer l'extrême sommet de l'Emsien (et la limite avec l'Eifelien) comme l'indique la présence de *Paraspirifer cultrijugatus* (Roemer) connu à ce niveau aussi bien dans l'Eifel qu'en Ardenne. Latéralement, l'extension verticale du « FBV de Marhouma » est variable : à l'Erg el Djemel, 70 km au sud du « km 30 », seules les deux dernières associations sont représentées. A Haci-Feguaguira, à 350 km vers le sud-est, l'association à *N. orbignyianus* du « FBV » est suivie par celle à *Warrenella (W.)* cf. *apodecta* Crickmay qui serait eifélienne.

*Laboratoire de Paléontologie Stratigraphique et Paléoenvironnement, Université d'Oran Es-Sénia, BP. 1524 El M'naouer, Oran / Algérie. oualimeha@gmail.com

**UMR 6538, Université de Bretagne Occidentale, 6 Avenue V. Le Gorgeu, BP. 809, 29285 Brest cedex, France.

***Laboratoire «Paléoenvironnement et Paléobiosphère», UMR 5125 du CNRS, Université Claude Bernard, Lyon 1, 43 Bd. du 11 novembre 69626 Villeurbanne cedex / France.

****Laboratoire de Magmatisme et Géodynamique des Bassins Sédimentaires Algériens, Univ. Oran.

¹ Posthume

- Manuscrit déposé le 13 Juin 2009, accepté après révision le 16 Novembre 2009.

L'étude taphonomique des brachiopodes a permis de déterminer les niveaux à rétro-action taphonomique et de condensation « time-averaging ». Les résultats ont été intégrés aux caractères sédimentologiques et la biodiversité afin d'établir le découpage séquentiel dans le FBV. Ainsi, trois (3) cycles (cycles 1, 2 et 3) et un demi-cycle (demi cycle 4) de haute fréquence (4^{ème} à 5^{ème} ordre) ont été définis et dont les durées varient entre 140 ka à 345 ka. Ces cycles s'intègrent dans les modulations (courte vs longue durée) de l'excentricité terrestre au Dévonien.

Les caractères et la classification des niveaux coquilliers, nous permettent de considérer le niveau « FBV de Marhouma » comme un « niveau majeur » d'où son extension régionale. La présence d'assises similaires dans les bassins ouest sahariens (bassins de Tindouf, de l'Ahnet, du Zemmour et du Maroc présaharien) attestent du régime transgressif.

Mots-clés - Saoura - Niveau majeur - Coralligène - Association - Rétro-action taphonomique - Biodiversité.

SEDIMENTARY DYNAMIC AND HIGH FREQUENCY EUSTATIC CYCLES OF THE MARHOUMA « MAJOR SHELL-BED » AT THE LOWER DEVONIAN – MIDDLE DEVONIAN TRANSITION OF THE SAOURA (NORTH-WESTERN SAHARA, ALGERIA).

ABSTRACT

In the Saoura, the “km 30” cross section exposes a particular level rich in varied benthic fauna so called «coralligène» *sensu* Le Maître (1952) which records one of the transgressive episodes of the Devonian cycles.

The use of the “coralligène” term leads to confusion. This word was used in 1880 by Marion to characterize an environment which generates « the red coral » and is particular to the Mediterranean Sea. The level of Marhouma does not correspond to it neither by its faunal contents nor by its sedimentological features (stratified layers with bioclastic packstones textures). To counter this ambiguity, we propose the use of the denomination “level with varied benthic fauna (= FBV)” followed by the name of the locality (= FBV of Marhouma).

Concerning the biostratigraphy, the “FBV of Marhouma” shows the superposition of three associations of brachiopods in the “km 30” section : association with *Alatiformia jaekeli*, association with *Athyris (Athyris) concentrica* and association with *Nucinulus orbignyanus*. The higher part of the last association could mark the extreme top of Emsian (and limit with Eifelian) as the presence of known *Paraspirifer cultrijugatus* indicates it to this level in Eiffel and in Ardenne. Laterally, the vertical extend of the « FBV of Marhouma » is variable : in Erg el Djemel, 70 km in the South of Marhouma, only the two last associations are represented. Moreover, to 350 km towards the South-East, at Hacı-Fegaguira, in the «FBV», the association with *N. orbignyanus* is followed by that with *Warrenella (W.) cf. apodecta* which would be from the Eifelian.

The taphonomic study of the brachiopods made it possible to determine the levels with taphonomic feedback and of the “time-averaging”. The results were integrated with the

DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE ET CYCLES EUSTATIQUES DE HAUTE FRÉQUENCE
DU « NIVEAU MAJEUR » DE MARHOUMA AU PASSAGE DÉVONIEN INFÉRIEUR - DÉVONIEN MOYEN
DE LA SAOURA (SAHARA NORD-OUEST, ALGÉRIE).

sedimentological features and the biodiversity in order to establish sequential cutting in the FBV. Thus, three (3) cycles (cycles 1, 2 and 3) and a semi-cycle (half cycle 4) of high frequency (4° to 5° order) were defined and of which the durations vary between 140 ka to 345 ka. These cycles are integrated in the modulations (short vs long duration) of the terrestrial eccentricity at the Devonian time.

The characteristics and the classification of the shelly levels enable us to regard this « FBV of Marhouma » as a « major level » from where it's regional extension. The correlations with the Western Sahara basins (Basin of Tindouf, of Ahnet, of Zemmour and Morocco) attest the transgressive regime.

Keywords - Saoura - Major level - «Coralligène» - Association - Raphonomic-feedback - Biodiversity.

ABRIDGED VERSION

I. INTRODUCTION

The term “coralligène” was defined by Marion (1883) in the Mediterranean Sea for the Quaternary inter-glacial deposit and developed after by Pires and Picard (1964). It was introduced in the Saoura by Le Maître (1952) in his paleontological work about the Lower Devonian fauna of the Saoura and Erg el Djemel (fig. 1).

It must indicate comparable facies which currently, in the Mediterranean Sea, correspond to the association of the octacorallian *Corallium rubrum* with a benthic fauna diversified in a phytal system and shade-loving (not tolerating the light). They are thus red coral settlements fixed on algal concretions in caves or along underwater cliffs receiving little light. By using this term, Le Maître (1952) wanted to mark the difference between the facies of the Saoura and true biostromal constructions. Plusquellec (1997) does not adhere, either, with the idea of a bioconstruction”... the corals, in partnership with massive bryozoans, colonize muddy funds without building relief or skeletal screen functioning as sediment trap...“. Hasenhüttl and Hubmann (1995) announce in the second megacycle of Eifel...“ predominance of typical reef building organism is conspicuous in all section. But even so, there is no evidence in the field for true reef...“. Roux (1992) also underlined the danger of interpretation from

“... le classique bout de corail qui fait le récif...”.

The recent development of the concept of the “major level” (= major shellbed) *sensu* Kidwell (1982 ; 1986; 1989), Kidwell and Jablonski (1983), Kidwell and Bosence (1991) and Garcia (1993), and of the shelly levels in general (Naish and Kamp, 1997; Kondo and *al.*, 1998; Fürsich and Pandey, 2003; Ouali Mehadji and *al.*, 2004) enabled us to re-examine the nature, the organization and the sequential position of this level in relation with the relative sea level variations by analyzing its faunal contents and its sedimentological features.

II. BIOSTRATOGRAPHIC AND ECO-TAPHONOMIC FEATURES OF THE MARHOUMA FBV

In the “km 30” section near Marhouma area, we could define three brachiopods associations (fig. 2), *Alatiformia jeakeli* association (1), *Athyris (A.) concentrica* association (2) and *Nucinulus orbignyianus* association (3). In Erg el Djemel, we found the associations 2 and 3. In the Hacı-Feguaguira area, the association 3 with *Nucinulus orbignyianus* is overcome by *Warrenella (W.) cf. apodecta* association (4).

The correlations with the ammonoids and conodontes biozones, defined in the Saoura (Gödertz, 1987) and in the Eastern part of the Anti-

Atlas (Klug, 2002), make it possible to place the associations 1, 2 and 3 in the *patulus* zone (Uppermost Emsian) and association 4 in the *costatus* zone (lowermost Eifelian) (Ouali Mehadji and *al.*, 2004).

We will present here only the ecotaphonomic characters of the Marhouma FBV. The same methodology was applied for the Erg el Djemel and Hacı-Feguaguira sections but which is not developed here.

1. *Alatiformia jaekeli* association

Spiriferidae (*Arduspirifer*, *Alatiformia*, *Janius* and *Cyrtina*) are dominant but the Pentameridae *S. sieberi* (Barrande) is represented by more individuals. Two taphonomical bias are present: edges broken shells and encrustations by bryozoans. Only some *Cyrtina intermedia* (DeFrance) individuals show plastic deformations.

Beside the brachiopods, we found crinoidic articles and stems and rugose (solitar and rare colonies). The hydrodynamic energy is moderate but certainly swept by intermittent bottom currents and below the storms actions; the micrite which cements the bioclastic material, diluted by clay, gives an account of these conditions. The absence of truncated layer and any structures of currents activity confirm the offshore settlement. Similar levels at the Draa Valley (Morocco) were interpreted as tempestites (Jansen and *al.*, 2004). We don't agree this interpretation in our case. The rate of sedimentation is not high and encrusting testifies exhumation and burial phases of the biogenic elements.

2. *Athyris (A.) concentrica* association

Dominated by Atrypidae [*Atrypa (Planatrypa)* and *Oglu*] in marly sediment. The

Atrypidae seems very tolerant to muddy sedimentation (Copper and Racheboeuf, 1985) beside Leptaenidae. However, the presence of fragmented and disarticulated specimens suggests that this muddy sedimentation was not done in instantaneous and continuous way but interrupted by moments of currents activity which concentrate the shells and broke some ones. The frequency of the deformed shells suggests a relatively higher sedimentation rate compared to limestones deposits.

3. *Nucinulus orbignyanus* association

Dominated by Rhynchonellidae (*Nucinulus*, *Glossinulus* and *Corvinopugnax*). The presence of well preserved shells with used ones, encrusted and internal moulds of others, indicates differences in the degree of safeguarding. That implies differences of the taphonomical history. According to Kidwell (1989), this mixture of fauna from different degree of safeguarding underlines the phenomenon of taphonomic feedback.

At the top of this association, the argillaceous levels are thinning upward. It seems well that the limestones beds, at weak sedimentation rate, supports this phenomenon but in the muddy levels, at higher sedimentation rate, the degree of taphonomic condensation is less.

The Marhouma FBV shows the following features:

- more marked taphonomic feedback in limestones than in clays.
- no sorting by the currents was established but the absence sometimes of youthful specimens can correspond to a winnowing; transport was not long but the time of residence on the bottom is significant. It corresponds to several phases of hiding and of exhumation (by bioturbation) because the shells not hidden intermit-

DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE ET CYCLES EUSTATIQUES DE HAUTE FRÉQUENCE
DU « NIVEAU MAJEUR » DE MARHOUMA AU PASSAGE DÉVONIEN INFÉRIEUR - DÉVONIEN MOYEN
DE LA SAOURA (SAHARA NORD-OUEST, ALGÉRIE).

tently have great probability of being destroyed;

- the rate of sedimentation is weaker for limestones than for clays. The carbonate production is mainly assured by these benthic organisms;

- vertical evolution characterized by the installation of Spiriferidae, followed by Atrypidae and finally by Rhynchonellidae.

III. BIOSTRATIGRAPHIC DATA

The data provided by Göddertz (1987) are rather precise and its reference marks can be correlated with our section (fig. 3). The layer 27 of Göddertz (1987) belongs to the *costatus* zone (Eifelian). In the Mech Irdane section (Tafilalt, Morocco), Bultynck and Walliser (2000) place the Emsian/Eifelian limit between close to the occurrence of the genera *Fidelites* and *Pinacites*, and propose to locate at 0,95 m under the wall of “*Pinacites* Limestones” of Hollard. By adopting the same reasoning, we locate the limit of the *patulus* / *partitus* zones at the wall of bed 25, as admitted by Göddertz (1987) or in a 3,30 m thickness interval made up of marls.

The level RM 9 which contains *Paraspirifer cultrijugatus* is located at 5, 60 m under the bed 25 (of Göddertz, 1987). This marker appears well in the Eiffel and in the Ardenne at the top of the *patulus* Zone and disappears in the lower part of the *costatus* Zone (Weddige, 1996). The limit Emsian/Eifelian must be located at a short distance from the top of the FBV.

IV. SEQUENTIAL CUTTING OF THE MARHOUMA FBV

The genetic sequence (fig. 4) of the Marhouma FBV is based on the sedimentological (lithology, textures, stratonomy), paleontological (brachiopods taxa) and taphonomic cha-

racteristics as well as specific diversity (“time-averaging”) and the specific abundance.

It begins with a bioclastic calcarenitic layer (0,10 - 0,40m thickness), bioturbated, with packstone texture, and containing a varied benthic fauna (brachiopods, stems and articles of crinoids, solitary and colonial rugosa, trilobites, ammonoids and orthocones. Several levels delivered brachiopods encrusted by bryozoan, agglutinations of fine grains, fragments of shells and some valves. These phenomena imply that the shells, before their final burial, underwent taphonomic damages of their residence on the bottom. If the time of residence is too long, the destruction of the shells can be done either by the biological component (biological deterioration) or by physico-chemical phenomena (dissolution, fragmentation...). However, many works like those of Kidwell (1989) used an alternation of phases of hiding and exhumations to interpret the conservation of the shells with a weak rate of sedimentation. This time of residence thus makes it possible to provide a hard substrate favourable to the recruitment of epibenthic fauna (taphonomic feed-back) and the succession of the generations induces a smoothing of the lines time (“time-averaging”). This proliferation of benthic fauna will result in a carbonated production “in situ” with a low rate of sedimentation which supports the “time-averaging” at the rise of relative sea level “Transgressive System Tract” (TST). The high level deposit “High System Tract” (HST) is identified with muddy flocculation (clays and marls) and fauna is less diversified but more abundant.

The stacking of the genetic sequences will be given according to the sedimentological features, the species diversity and the abundance of the taxa. The variations of the environmental parameters will be given by the qualitative evaluation of the taphonomic feed-back (Fürsich and Aberhan, 1990) the “time-av-

eraging". The maximum flooding will be related to the maximum of species diversity and to the maximum of chronological condensation.

We individualize in the Marhouma FBV three cycles and an half cycle at the top (fig. 5) :

Cycle 1: from RM1 level (RM= fossiliferous level) to the RM3 with 3,50 m thickness. RM1 and RM2 represent TST with a maximum flooding at the RM2 represented by average species diversity (7 species). The HST is represented by RM3, thicker than the transgressive interval, but less rich and less diversified fauna.

Cycle 2: covers RM4 and RM6, with 3,80 m thickness. The TST is represented by RM4 and RM5 where the maximum flooding is located with eight (8) species diversity. During this cycle, the abundance of the individuals is low during the transgressive period and high during the HST.

Cycle 3: from RM7 to RM8 levels with 2,10 m thickness. The maximum flooding is at the top of the RM7 which also coincides with an increase in species diversity (10 species) but the individual abundance remains low. The HST is represented in the RM8 where diversity and abundance are falling.

Half cycle 4: from RM9 and RM10 with the maximum of species diversity and abundance. They constitute the **Zone** Maximum Flooding (MFZ) of a transgressive episode enclosed by a Maximum Flooding **Surface** (MFS).

V. PERIODICITY OF THE HIGH FREQUENCY SEQUENCES AND DURATIONS OF THE REGRESSIVE-TRANSGRESSIVE CYCLES OF THE MARHOUMA FBV

The duration of the Devonian ammonoids zones, proposed by Sandberg and Ziegler (1996), suggest a value equal to 1,33 My for each am-

monoids biozone at the Emsian time. The FBV of Marhouma is contained inside the *patulus* Zone (Göddertz, 1987; Boumendjel and *al.*, 1997) and we can admit, by approximation, one average duration bordering 1 My for the totality of the FBV.

The calculation of the average duration of the genetic sequences of the FBV of Marhouma gives a value of about 70 ky (kiloyears). Thus, the duration of the *Alatiformia jaekeli* zone is 175 ky, the *Athyris (A.) concenytica* association has a value of approximately 350 ky and finally for *Nucinulus orbignyanus* association with approximately 490 ky.

The cycles of the Saoura FBV show durations of 140 ky to 345 ky (4th to 5th order). The changes of faunas, taphonomic condensations and the values of the highest species diversity are related to cycles 2 and 4 of 275 ky and 345 ky frequency.

The modulations of the high frequency cycles of the 4th to the 5th order (at Devonian time) are controlled by the astronomical cycles of the terrestrial orbit eccentricity, with cycles of long eccentricity (400 ka) and of short eccentricity (100 ka) according to Yang and Kominz (2002). The durations calculated here for the FBV of Saoura are between the extreme values (long vs short) of the eccentricity.

VI. CONCLUSION: RELATION BETWEEN THE BRACHIOPODS LEVELS, THE EUSTATIC CYCLES (4th - 5th ORDER) OF MARHOUMA FBV AND THE REGIONAL CONTEXT

For Delance and *al.* (1993), the paleoecologic succession is placed at the end of the transgressive system tract. The replacement is concomitant to the maximum flooding. In the Saoura FBV, the replacements are close to the maximum flooding but the ecological succes-

sions occur at any time of the transgressive interval.

The stacking of the various cycles is organized in a transgressive interval, by retrogradation ("onlap"), at 3rd order sequence, followed by marls-limes bearing ammonoids in aggradant system (Ouali Mehadji, 2004). This transgressive episode allowed the installation of a carbonate ramp sedimentation which also coincides with the scarcity of the detrital materials.

This event is generalized to all the Saoura area. Towards South-East, at Fegaguira, condensation is less. In the North of Reggane (Lahmar area), we found the same alternation of marls and limestones in the Saoura area. It is for now, the southernmost point known on the Saharan platform of the equivalent of the FBV. However in the South of Reggane and in the Ahnet, this characteristic fauna of the Emsian/Eifelian transition is found in an interval (lower than 1,50m) of conglomeratic ferruginous sandstone (washover facies). Towards South-West, in the Tindouf basin (Gara-Djebilet) and in the Zemmour area, we still find the same fauna of brachiopods in marls-limestones deposits. The correlations attest the extension of the FBV in these various basins (Ouali Mehadji, 2004). Villemur (1967) discovered the same fauna of brachiopods, from Oglat Zerem to In Dagouber, in the Taoudenni Basin. This transgression of the end of Emsian is thus general in all the Western part of the African Sahara.

The expression of this transgression, announced by a major level with brachiopods, is different from a sector to another according to bathymetry, the paleogeographic position and the carbonate rate production certainly by benthic fauna. This fauna is controlled in the Saoura FBV by eustatic cycles whose frequency approaches from the terrestrial eccentricity during Devonian time.

I. INTRODUCTION

Le Maître (1952) décrit la faune du Dévonien inférieur de la Saoura (fig. 1). Cet auteur utilise le terme « coralligène » pour le niveau riche en articles et tiges de crinoïdes, brachiopodes, tétracoralliaires, trilobites, bryozoaires, quelques rares gastropodes, orthocères et goniatites.

Ce terme « coralligène » a été introduit par Marion (1883) puis défini par Pires et Picard (1964). Il doit désigner des faciès comparables à ceux qui actuellement, en Méditerranée, correspondent à l'association de l'octacoralliaire *Corallium rubrum* avec une faune benthique diversifiée dans un système phytal (présence des algues) et sciaphile (ne tolérant pas la lumière ; ombre). Il s'agit donc de peuplements de corail rouge fixés sur des concrétions algaires dans des grottes ou le long de falaises sous-marines recevant peu de lumière. En utilisant ce terme, Le Maître (1952) voulait probablement marquer la différence entre les faciès de la Saoura et les véritables constructions récifales stratifiées (biostromes).

Le Maître (1952) avait pressenti le caractère particulier de ce niveau et ne l'avait donc pas qualifié de récif. A propos de l'écologie des Polypiers boutons de ce niveau, elle la comparait à celle de certains coraux actuels, tels les *Fungia* et écrivait (p.25) «...ils vivent détachés sur le sable aux abords des îlots coralligènes. Tous ont d'abord un point d'attache mais sont libérés par le déplacement des eaux, déposés avec d'autres fragments sous le vent, et finalement sur le sable... ». Roux (1992) a, aussi, souligné le danger des interprétations à partir «...du classique bout de corail qui fait le récif...».

Plusquellec (1997) n'adhère pas, non plus, à l'idée d'une bioconstruction puisqu'il conclut: «...les coraux, en association avec des bryozoaires massifs, colonisent des fonds boueux sans édifier des reliefs ou de trame squelettique fonctionnant en piège à sédiments...».

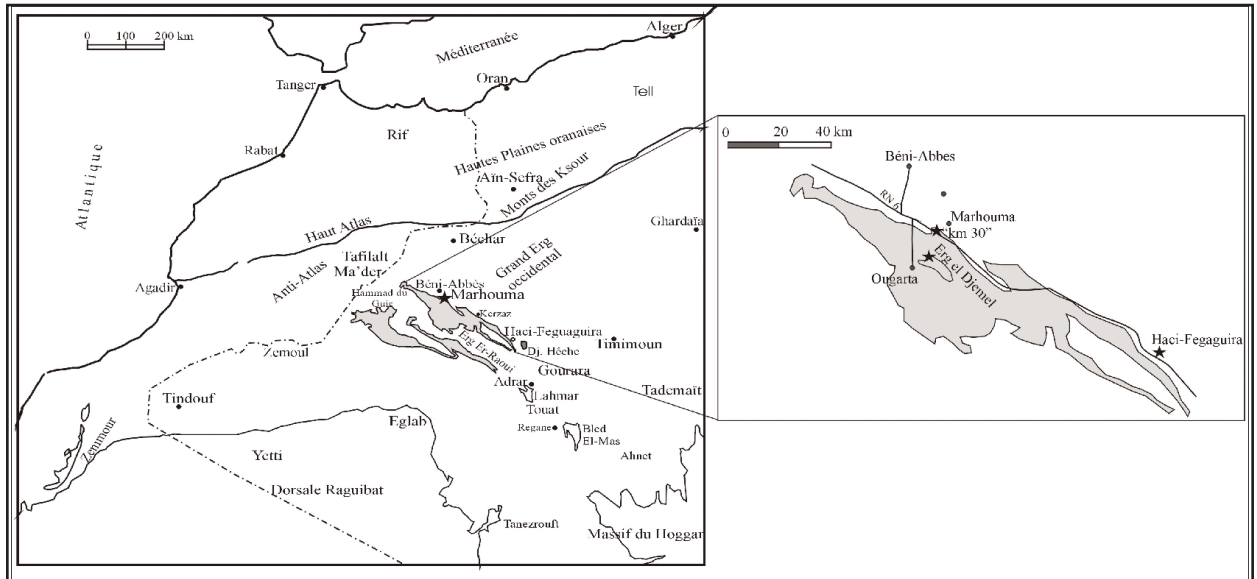


Fig. 1 - Situation géographique de la région d'Ougarta (en gris)

geographic location of the Ougarta area (in grey)

Hasenhüttl et Hubmann (1995) signalent dans le second mégacycle de l'Eifel «...predominance of typical reef building organism is conspicuous in all section. But even so, there is no evidence in the field for a true reef...», ce qui implique que ce phénomène se retrouve probablement en d'autres endroits.

Nos observations nous ont permis d'admettre des tentatives de bioconstruction (sommets des niveaux calcaires) rapidement étouffées par la sédimentation boueuse (marnes). La dynamique sédimentaire correspond à une bioaccumulation (accumulation *sensu* Efremov, 1950 in Fernandez-Lopez, 1991) et non pas à une bioconstruction. Latéralement, aussi bien dans la coupe du «km 30» que celles de l'Erg el Djemel ou Fegaguira, la bioaccumulation reste caractéristique de ce niveau.

Il est donc nécessaire d'abandonner l'emploi du terme «coralligène» pour désigner de tels ensembles lithologiques non construits. En conséquence, nous proposons d'utiliser la dénomination niveau à «Faune Benthique Variée» de Marhouma (= FBV de Marhouma).

Le développement récent du concept du «niveau majeur» (= major shell bed), au sens de Kidwell (1982; 1986; 1989), Kidwell et Jablonski (1983), Kidwell et Bosence (1991) et Garcia (1993) et des niveaux coquilliers en général (Naish et Kamp, 1997; Kondo et *al.*, 1998; Fürsich et Pandey, 2003) nous a permis de revoir la nature, l'organisation et la position séquentielle de ce niveau en relation avec les variations du niveau marin relatif en analysant son contenu faunique (peuplement, paléocéologie et taphonomie) et ses caractères sédimentologiques.

II. CARACTÈRES BIOSTRATIGRAPHIQUE ET ÉCO-TAPHONOMIQUE DU FBV DE MARHOUMA

Les associations à brachiopodes définies, correspondent à des biozones d'association au sens d'Hedberg (1979) et de Thierry (1997). Ces associations sont assimilables à des écozones. Elles correspondent à des unités objectives et de bonne valeur pour les corrélations locales et régionales.

DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE ET CYCLES EUSTATIQUES DE HAUTE FRÉQUENCE
DU « NIVEAU MAJEUR » DE MARHOUMA AU PASSAGE DÉVONIEN INFÉRIEUR - DÉVONIEN MOYEN
DE LA SAOURA (SAHARA NORD-OUEST, ALGÉRIE).

Les caractères taphonomiques sont basés sur la qualité du matériel biologique. Les principaux caractères déterminés correspondent aux : désarticulation; usure des coquilles; fragmentation; encroûtement; agglutination; moules internes; déformation; plastique; remplissage des coquilles et coquilles bien conservées (Ouali Mehadji, 2004).

II. 1. Caractère biostratigraphique : les associations à brachiopodes

Dans la coupe du « km 30 » du secteur de Marhouma, nous avons pu définir trois associations à brachiopodes (fig. 2) : l'association à *Alatiformia jeakeli* (1), l'association à *Athyris (A.) concentrica* (2) et l'association à *Nucinulus orbignyanus* (3).

À l'Erg el Djemel, on a retrouvé les associations 2 et 3.

Dans le secteur de Haci-Feguaguir, l'association 2 à *Nucinulus orbignyanus* est surmontée par celle à *Warrenella (W.) cf. apodecta* (4).

Les corrélations avec les zones à goniatites et conodontes définies dans la Saoura (Göddertz, 1987) et dans la partie orientale de l'Anti-Atlas (Klug, 2002) permettent de placer les associations 1, 2 et 3 dans la Zone à *patulus* (sommet de l'Emsien supérieur) et l'association 4 dans la Zone à *partitus* (extrême base de l'Eifélien), sur la base des caractéristiques fauniques telle que établies par Bultynck et *al.*, (2000); Ouali Mehadji et *al.*, (2004).

II. 2. Caractères éco-taphonomiques du FBV de Marhouma

Nous ne présentons ici que les caractères éco-taphonomiques du FBV de Marhouma. La même méthodologie a été appliquée pour les coupes de l'Erg el Djemel et de Haci-Feguaguir.

1. Association à *A. jeakeli*

Cette association est nettement dominée par les Spiriféridés (*Arduspirifer*, *Alatiformia*, *Janius* et *Cyrtina*) mais le pentaméride *S. sieberi* est représenté par des individus plus nombreux.

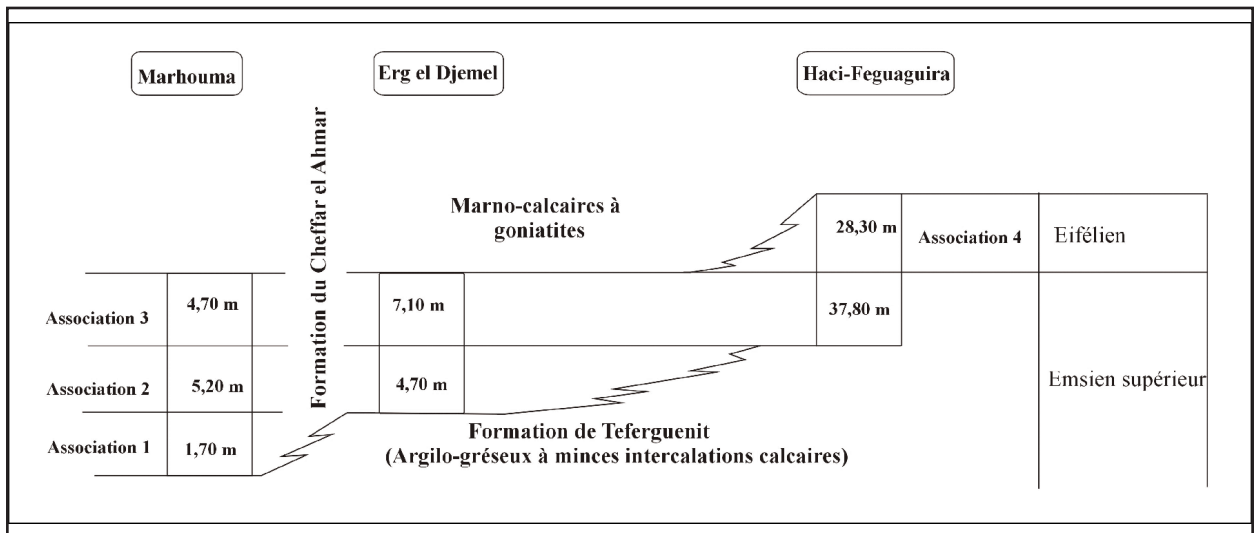


Fig. 2 - Corrélation des différentes associations de brachiopodes de FBV de la Saoura de l'Erg el Djemel et de Haci-Feguaguir

**Correlation of the different brachiopods associations
in the Saoura, Erg el Djemel and Haci-Feguaguir FBV**

Deux caractères taphonomiques sont dominants : les coquilles brisées surtout vers les commissures antérieures et les encroûtements par des bryozoaires. Seuls quelques individus de *Cyrtina intermedia* (Defrance) montrent des déformations par tassement-étirement (sédimentation rapide).

Cet assemblage (brachiopodes, crinoïdes...) peut être considéré comme une phase pionnière; la phase initiale de l'installation d'un écosystème très favorable à une faune benthique dominée par les suspensivores. A côté des brachiopodes, nous rencontrons surtout des tiges et articles de crinoïdes et des tétracoralliaires solitaires associés à quelques colonies. Les conditions environnementales correspondent à un milieu d'énergie moyenne mais certainement balayé par des courants de fond et sous le niveau d'action des tempêtes; la micrite qui cimente le matériel bioclastique, mélangée à l'argile, rend compte de ces conditions. En outre, Pelhâte (1981), dans le massif armoricain, rencontre des faciès identiques qu'elle interprète de l'environnement (offshore) à micrite argileuse. L'absence de surfaces d'érosions intra-bancs et de structures de courants sont autant de caractères d'un environnement à l'abri de l'action des vagues. Le taux de sédimentation n'est pas élevé et les encroûtements témoignent de phases d'exhumation et d'enfouissement des éléments biogéniques. La présence de bryozoaires encroûtant des coquilles au niveau du plan d'articulation caractérise un encroûtement post-mortem.

La diversité spécifique et la relation entre les taxons du niveau RM1 par rapport au RM2 (fig. 5) indiquent une variation importante des paramètres environnementaux et une nette abondance relative de *Arduspirifer intermedius* (Schlothheim).

2. Association à *Athyris (A.) concentrica*

Cette association est dominée par les Atrypidés [*Atrypa (Planatrypa)* et *Oglu*] fossilisés dans des sédiments argilo-marneux ; en effet ce

groupe d'organisme semble très tolérant à ce type de sédimentation à côté des Leptaenidés. Toutefois, la présence de spécimens fragmentés et désarticulés suggère que cette sédimentation boueuse ne s'est pas faite d'une façon instantanée et continue mais entrecoupée de moments d'activité de courants de fond qui concentrent les coquilles (mortes) et désarticulent quelques spécimens. Les encroûtements sont presque absents (dans ces niveaux). La sédimentation boueuse (même à faible vitesse) maintient la dilution et empêche le développement de surface d'arrêt sédimentaire.

La fréquence des coquilles déformées suggère un taux de sédimentation relativement plus élevé que lors des épisodes calcaires. En effet, cette déformation se produirait par tassement des sédiments (enfouissement) rapide (dans les intervalles boueux).

3. Association à *N. orbignyanus*

Cette association est dominée par les Rhynchonellidés (*Nucinulus*, *Glossinulus* et *Corvinopugnax*). La présence de coquilles bien conservées et, d'autres usées ou encore encroûtées ainsi que de moules internes, indique des différences dans le degré de préservation. Cela implique des différences de l'histoire taphonomique bien que le matériel se retrouve aujourd'hui dans un même niveau. D'après le « paradoxe de la préservation » de Kidwell (1989), ce mélange de faunes à degré de préservation très différent souligne le phénomène de rétro-action taphonomique. Pour Fernandez-Lopez (1995), il est possible de définir des séquences taphonomiques à partir d'un matériel paléontologique à degré de préservation différent. Toutefois, cet auteur a pu établir de telles séquences sur des faunes pélagiques (ammonites); dans le cas d'une faune benthique, il n'est pas aisé de reconnaître la chronologie relative mais seulement de mettre en évidence des condensations taphonomiques, dans ce cas, intra-habitat.

DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE ET CYCLES EUSTATIQUES DE HAUTE FRÉQUENCE
DU « NIVEAU MAJEUR » DE MARHOUMA AU PASSAGE DÉVONIEN INFÉRIEUR - DÉVONIEN MOYEN
DE LA SAOURA (SAHARA NORD-OUEST, ALGÉRIE).

Au sommet de cette association, les niveaux argileux sont de plus en plus minces tandis que les épisodes calcaires deviennent plus importants. Il semble bien que les niveaux calcaires, à taux de sédimentation réduite, favorisent ce phénomène par contre dans les niveaux boueux, à taux de sédimentation plus élevée, le degré de condensation taphonomique est moindre.

II. 3. Caractéristiques du FBV de Marhouma

Le FBV de Marhouma montre les caractères suivants :

- rétro-action taphonomique plus prononcée dans les calcaires que dans les argiles;
- l'action des courants n'a pas été mise en évidence mais l'absence parfois de spécimens juvéniles pourrait correspondre à un vannage ; le transport bien que présent ne devait pas être long mais le temps de résidence sur le fond est important. Il correspond à plusieurs phases d'enfouissement et d'exhumation (par bioturbation) car les coquilles non enfouies par intermittence ont de grande probabilité d'être détruites;
- le taux de sédimentation est plus faible pour les calcaires que pour les argiles. La production carbonatée est assurée en grande partie par ces organismes benthiques;
- intercalations de passées sableuses à grain fin à moyen;
- évolution verticale caractérisée par l'installation des Spiriféridés, puis des Atrypidés et enfin par celle des Rhynchonellidés.

III. DATATIONS BIOSTRATIGRAPHIQUES

Les données fournies par Göddertz (1987) sont assez précises et ses repères peuvent être appliqués à notre coupe (fig. 3).

En outre, la comparaison entre la répartition des goniatites dans la coupe du «km 30» par rapport :

- à celle du parastratotype (faciès pélagique) défini en Bohême (République Tchèque) (Chlupac, 1985);
- aux limites établies dans l'Anti-Atlas par Bultynck et Walliser (2000);
- aux zonations à brachiopodes et goniatites établies en Allemagne par Mittmeyer, Solle, Struve, Becker *in* : Weddige (1996) ainsi que la distribution de certains *Spiriferidae* index, par rapport aux zones à conodontes dans l'Eifel (coupe du stratotype; Solle, 1971; Ziegler, 2000) et en Ardennes (Bultynck et *al.*, 2000), permettent de bien situer la limite Emsien / Eifelien dans un intervalle de quelques mètres (3,30 m).

Le banc 27 de Göddertz (1987), par sa faune de goniatites, appartient à l'Eifelien, Zone à *costatus*. Au Maroc, dans la coupe de Mech Ir-dane (Tafilalt), Bultynck et Walliser (2000) placent la limite Emsien / Eifelien juste au-dessus de l'apparition du genre *Fidelites* et celle du genre *Pinacites*, et proposent de la situer dans un intervalle de 0,95 m du mur des «Calcaires à *Pinacites*» de Hollard; en adoptant le même raisonnement, on situe la limite des zones *patulus/ partitus* au mur du banc 25, comme admis par Göddertz (1987) ou encore dans un intervalle de 3,30 m d'épaisseur constitué de marnes.

Le banc 19 situé à 10,15 m sous le banc 25 peut être placé dans la Zone à *patulus*.

Le niveau RM 9 qui a livré *Paraspirifer cultrijugatus* se situe à 5,60 m sous le banc 25. Ce marqueur apparaît aussi bien dans l'Eifel qu'en Ardennes au sommet de la zone à *patulus* et disparaît dans la partie inférieure de celle à *partitus* (Weddige, 1996; Bultynck et *al.*, 2000). La li-

mite Emsien / Eifelien se situe à une faible distance du sommet du FBV tel qu'il est défini ici sans qu'il ne soit exclu que l'Eifélien y débute au sommet du FBV.

Le FBV de Marhouma, qui débute à environ 3 m sous le banc 19 de Göddertz (1987), prend fin à environ 3,30 m, au plus, du passage Emsien / Eifelien. Il est donc compris dans la zone à *patulus*, couvrant une durée inférieure à 1,33 Ma (qui est la durée estimée probable de cette zone à goniatite). Toutefois, les données des goniatites n'excluent pas que la base de l'Eifélien soit plus basse que le niveau d'occurrence de *P. jugleri* (cas du parastratotype en République Tchèque).

IV. DÉCOUPAGE SÉQUENTIEL DU FBV DE LA SAOURA

Le découpage séquentiel du FBV de Marhouma est basé sur l'identification de la séquence génétique (fig. 4) qui combine les caractères sédimentologiques (textures, stratonomie), paléontologiques (taxons) et taphonomiques (présence ou non d'encroûtement par des épizoaires, fragmentation, désarticulation...) ainsi que la diversité spécifique («time-averaging») et l'abondance des brachiopodes.

Le groupement des séquences (fig. 5) est établi à partir des caractères taphonomiques relatifs. En effet, les peuplements benthiques

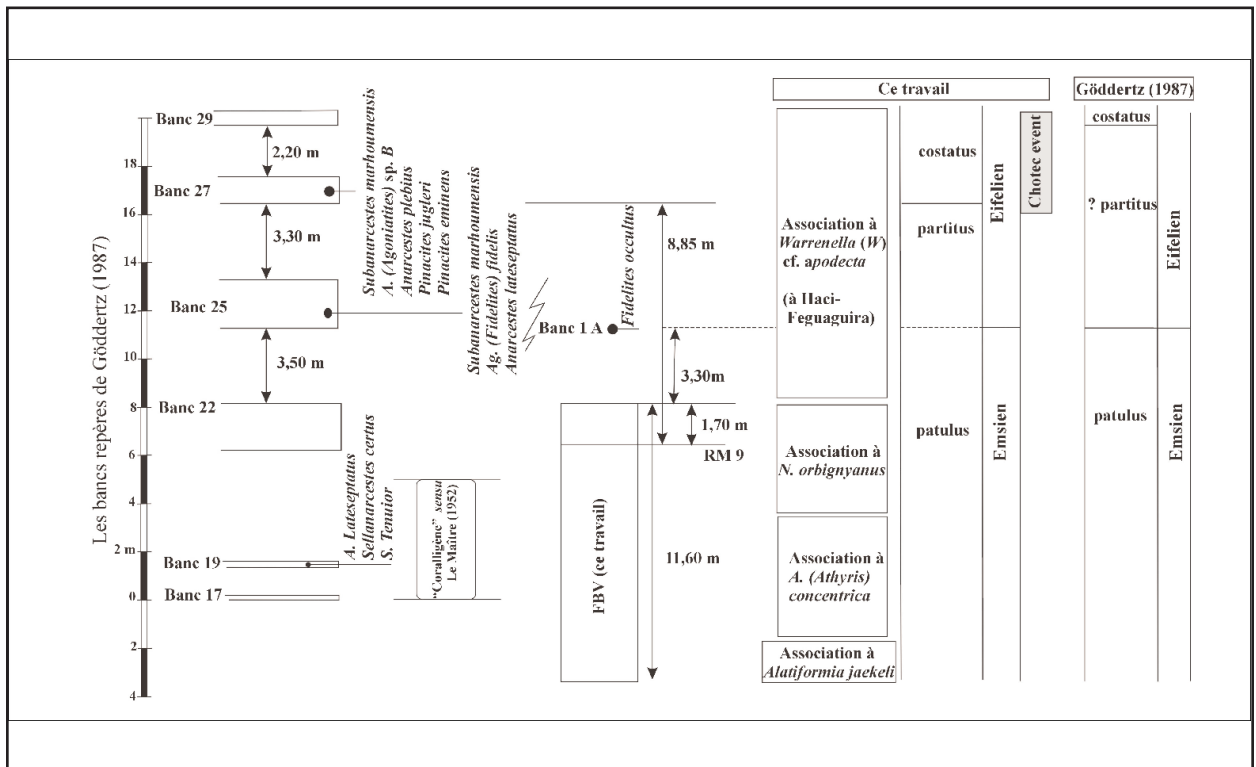


Fig. 3 - Corrélation entre niveaux à goniatites et le FBV de Marhouma par rapport à la limite Emsien/Eifélien
 Correlation between ammonoid taxa and the Marhouma FBV by in relation to the Emsian/Eifelien boundary

DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE ET CYCLES EUSTATIQUES DE HAUTE FRÉQUENCE
DU « NIVEAU MAJEUR » DE MARHOUMA AU PASSAGE DÉVONIEN INFÉRIEUR - DÉVONIEN MOYEN
DE LA SAOURA (SAHARA NORD-OUEST, ALGÉRIE).

sont très sensibles aux fluctuations relatives du niveau marin et l'augmentation ou la diminution de la richesse spécifique va traduire un certain degré de condensation. Cette condensation est d'autant plus grande que la diversité spécifique est élevée (time-averaging). L'exemple présenté est celui du FBV de Marhouma.

IV. 1. La séquence génétique (fig. 4)

Elle débute par un banc de calcarénites (0,10-0,40 d'épaisseur) bioclastiques, bioturbé, de texture packstone, et contenant une faune benthique variée (brachiopodes, fragments de tiges et de pédoncules de crinoïdes, tétracoraliaires solitaires et quelques formes coloniales, trilobites, goniatites et orthocères). Plusieurs niveaux ont livré des brachiopodes encroûtés par des bryozoaires, des agglutinations de grains fins, des fragments de coquilles ainsi que quelques valves. Ces phénomènes impliquent que les coquilles, avant leur enfouissement définitif, ont subi les aléas taphonomiques de leur résidence sur le fond. Si le temps de résidence est trop long, la destruction des coquilles peut se faire soit par les organismes (altération biologique) soit par des phénomènes physico-chimiques (dissolution, frag-

mentation...). Toutefois, certains travaux dont ceux de Kidwell (1989) font intervenir une alternance de phases d'enfouissement et d'exhumation pour interpréter la conservation des coquilles avec un faible taux de sédimentation. En outre, en Méditerranée, Pires et Picard (1964) ont montré que les prairies de posidonies, par leur étalement, assurent une certaine protection des coquilles benthiques. Nous pouvons penser à un effet similaire mais assuré par les crinoïdes et accessoirement par les tétracoraliaires coloniaux. Ce temps de résidence permet donc de fournir un substrat dur, favorable au recrutement d'organismes épibenthiques (rétro-action taphonomique) et la succession des générations induit un lissage des lignes-temps (« time-averaging »). Cette prolifération de la faune benthique va se traduire par une production carbonatée « in situ » avec un taux de sédimentation faible qui favorise le « time-averaging » lors de la remontée du niveau marin relatif «Transgressif System Tract» (TST). Le cortège de haut niveau «High System Tract» (HST) s'identifie avec la floculation boueuse (argiles et marnes) et la faune est moins diversifiée mais plus abondante. Dans certaines séquences, au-dessus du niveau marneux du HST, des détritiques fins arrivent avec une prolifération des trilobites et de quelques terriers.

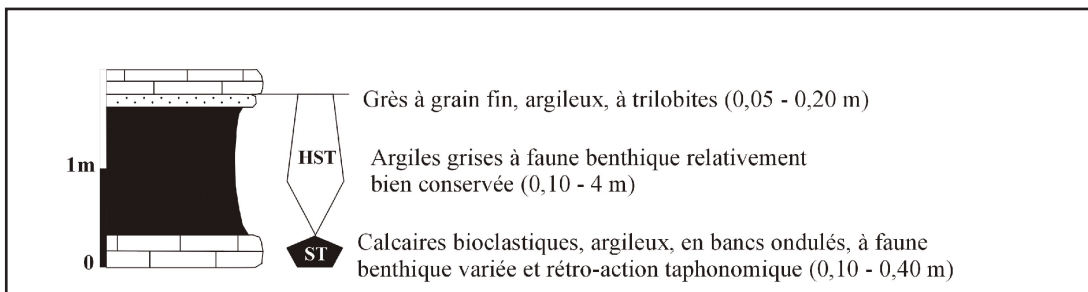


Fig. 4 - Séquence génétique du FBV de la Saoura

Genetic sequence of the Saoura FBV

IV. 2. Groupement de séquences

L'agencement des séquences génétiques sera déterminé en fonction des caractères sédimentologiques, de la diversité spécifique et de l'abondance des taxons. Il s'agit donc pour la première fois d'une évaluation du signal écoséquentiel en combinant plusieurs paramètres (lithologie, texture, taphonomie, diversité et abondance) dont l'évolution verticale sera liée aux fluctuations du niveau marin relatif. Les variations des paramètres environnementaux seront déterminées à partir de l'évaluation qualitative de la rétro-action taphonomique (Fürsich et Aberhan, 1990) et du «time-averaging». Le maximum d'inondation sera lié au maximum de diversité spécifique et donc au maximum de condensation chronologique.

IV.3. Les cycles de 4^{ème}- 5^{ème} ordre du FBV de Marhouma

Le découpage séquentiel à l'échelle des cycles élémentaires permet d'individualiser les cycles suivant (fig. 5) :

Cycle 1 : il s'étend du niveau RM1 au RM3 sur une épaisseur de 3,50 m. Le TST est constitué par les niveaux RM1 et RM2 avec un maximum d'inondation qui coïncide avec le RM2 représenté par une diversité spécifique moyenne (7 espèces). Le HST est représenté par le niveau RM3, plus épais que l'intervalle transgressif, mais moins riche et moins diversifié en faune.

Cycle 2 : ce cycle couvre les niveaux RM4 à RM6 sur une épaisseur de 3,80 m. Le TST est représenté par RM4 à RM5 où se localise le maximum d'inondation de ce cycle avec huit (8) espèces. Durant ce cycle, l'abondance des individus est faible pendant la période transgressive et élevée dans le HST.

Cycle 3 : ce cycle couvre les niveaux RM7 et RM8 sur une épaisseur de 2,10 m, avec un maximum d'inondation au sommet du RM7 qui

coïncide aussi avec une augmentation de la diversité spécifique (10 espèces), mais l'abondance des individus reste faible. Le HST de ce cycle est représenté dans le RM8 qui voit diminuer la diversité et l'abondance.

Demi-Cycle 4 : les niveaux RM9 et RM10 montrent le maximum de diversité et d'abondance. Ils constituent la zone de maximum d'inondation (MFZ) d'un épisode transgressif clôturé par une surface d'inondation maximale (MFS).

V. PÉRIODICITÉ DES SÉQUENCES DE HAUTE FRÉQUENCE ET DURÉES DES CYCLES TRANSGRESSIFS – RÉGRESSIFS DU FBV DE LA SAOURA

Les estimations quantitatives de la durée des zones à goniatites du Dévonien, proposées par Sandberg et Ziegler (1996), suggèrent une valeur égale à 1,33 Ma pour chaque biozone à goniatites de l'Emsien. Le FBV de la Saoura est contenu à l'intérieur de la zone à *patulus* (Gödertz, 1987; Boumendjel et al., 1987). En admettant qu'elle couvre la majeure partie de cette zone, nous pouvons admettre, par approximation, une durée moyenne avoisinant 1 Ma pour la totalité du FBV. Cette valeur, pourrait ne pas refléter la durée réelle, mais elle permet de proposer un ordre de grandeur assez probable.

Le calcul de la durée moyenne des séquences génétiques du FBV de Marhouma donne une valeur de l'ordre de 70 ka (ka= kilo années).

Nous trouvons, ainsi, une durée de 175 ka pour la zone à *Alatiformia jaekeli*. Pour l'association à *Athyris (A.) concenytrica*, on a une valeur d'environ 350 ka et enfin pour l'association à *Nucinulus orbignyanus* environ 490 ka. Les travaux récents (Bush et al., 2002; Carroll et al., 2003), sur l'estimation quantitative du «time-averaging» des niveaux à brachiopodes sur les plateformes pléistocène et actuelles, admettent des durées allant de 3 à quel-

DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE ET CYCLES EUSTATIQUES DE HAUTE FRÉQUENCE
DU « NIVEAU MAJEUR » DE MARHOUMA AU PASSAGE DÉVONIEN INFÉRIEUR - DÉVONIEN MOYEN
DE LA SAOURA (SAHARA NORD-OUEST, ALGÉRIE).

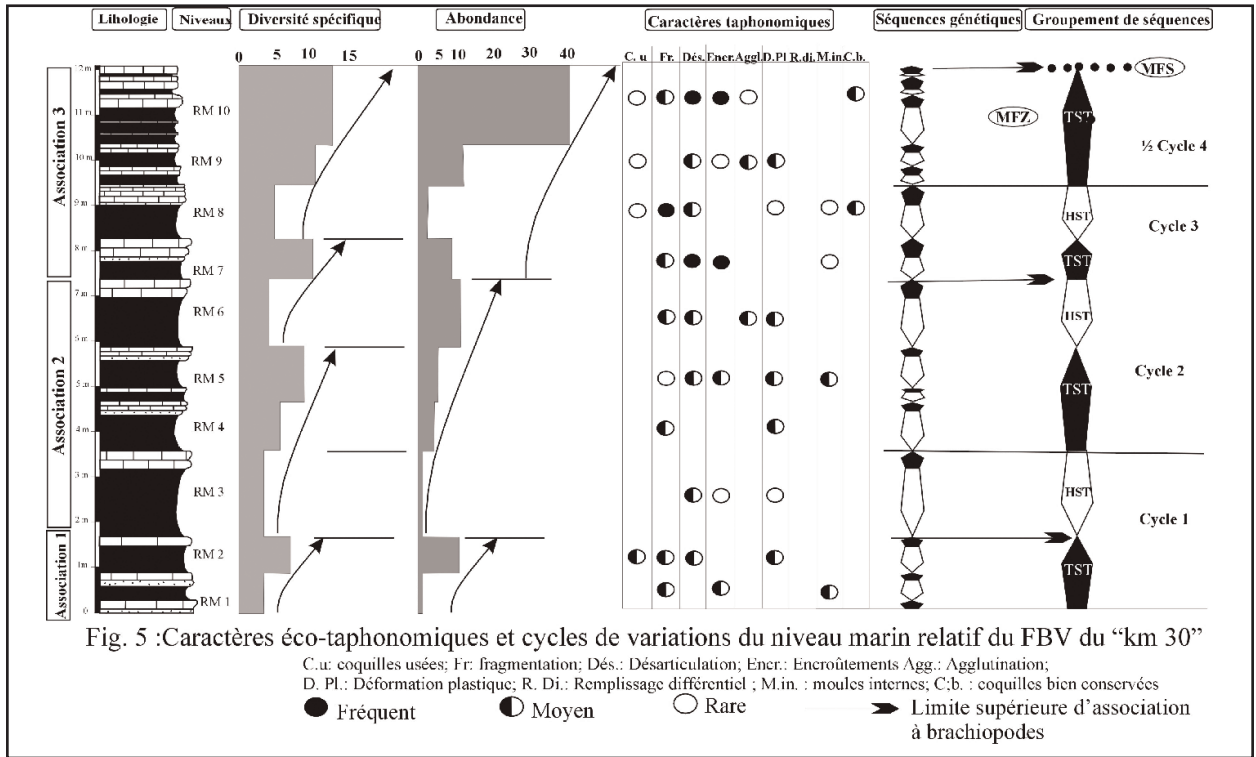


Fig. 5 - Caractères éco-taphonomiques et cycle du niveau relatif du FBV du “km 30”

Eco-taphonomic features and relative marine fluctuations of the “km 30” FBV

ques dizaines de ka pour un horizon coquillier (quelques centimètres d'épaisseur). Vu l'épaisseur des sédiments représentant chaque association, nos propositions s'intègrent parfaitement.

Le problème se pose pour l'estimation de la périodicité de la séquence génétique des coupes de l'Erg el Djemel et de Hacı-Feguaguira qui restent mal calées biostratigraphiquement par rapport aux zones standards à goniatites puisqu'on ne connaît pas précisément les limites des biozones; celle proposée par Petter (1959) (limite Emsien / Eifélien par première occurrence de *P. jugleri*) se situe dans une combe marneuse pluridécamétrique surmontant le FBV. En outre, *P. jugleri* apparaît au sommet de la zone à *partitus* dans l'Anti-Atlas marocain (Klug, 2002).

Le FBV de Marhouma est constitué de 3,5 cycles. Les estimations à partir de l'empilement des séquences génétiques donnent des durées moyennes de : cycle 1 = 240 ka ; cycle 2 = 275 ka; cycle 3 = 140 ka et 1/2 cycle 4 = 345 ka. Le maximum d'inondation se situe dans le 1/2 cycle 4. Il s'agit donc de cycles de haute fréquence.

Les cycles du FBV de la Saoura montrent des durées de 140 ka à 345 ka (4^{ème} à 5^{ème} ordre). Les changements de faune, les condensations taphonomiques et les valeurs de diversité spécifique les plus élevées sont liés aux cycles 2 et 4 de fréquence 275 ka à 345 ka.

Les modulations des cycles de haute fréquence de 4^{ème} à 5^{ème} ordre (au Dévonien) sont contrôlées par les cycles astronomiques de

l'excentricité de l'orbite terrestre ; avec des cycles de longue excentricité (400 ka) et de courte excentricité (100 ka) selon Yang et Kominz (2002). Les durées calculées, ici, pour le FBV de la Saoura se situent entre les valeurs extrêmes (longue vs courte) de l'excentricité. En outre, dans un enregistrement où le phénomène du « time-averaging » est attesté, les valeurs peuvent être déformées suite aux condensations.

La vitesse de sédimentation calculée à partir de l'épaisseur (non décompactée) de chaque cycle et de sa durée respective donne : 12 mm/ka durant le cycle 1; 14 mm / ka durant le cycle 2 ; 17 mm / ka durant le cycle 3 et de 6 mm / ka dans le ½ cycle 4.

VII. CONCLUSION : **RELATIONS ENTRE LES NIVEAUX** **À BRACHIOPODES ET LES CYCLES** **EUSTATIQUES (4^{ème}-5^{ème} ORDRE) DU FBV** **DE MARHOUMA DANS UN CONTEXTE** **RÉGIONAL**

Les variations du niveau marin relatif des cycles de 4^{ème} à 5^{ème} ordre, montrent des changements de peuplements des brachiopodes. Les différents mécanismes relevés dans le FBV de la Saoura sont résumés comme suit :

- la diversité spécifique et l'abondance relative des individus des taxons montrent une évolution similaire avec une augmentation durant l'intervalle transgressif jusqu'au maximum d'inondation qui marque une diminution de la diversité et de l'abondance. C'est l'exemple du cycle 1 du FBV du «km 30»;
- la diversité augmente graduellement durant l'épisode transgressif jusqu'au MFS puis diminue brutalement. L'abondance évolue avec la même tendance. C'est l'exemple du demi-cycle 4 du «km 30»;

- la diversité et l'abondance augmentent graduellement et la diminution de la diversité est compensée par une augmentation de l'abondance, généralement, d'une espèce qui va dominer l'ensemble de la population (niveau RM6 à la base du cycle 3).

Des variantes peuvent être observées qui paraissent proches des deux premiers mécanismes. Ces variations traduisent des variations des paramètres de l'environnement auxquels la faune benthique réagit par réorganisation de la population. Les stratégies de colonisation (horizontale et verticale) dans le FBV de la Saoura correspondent à la fois à des successions écologiques et des remplacements mais les phénomènes de condensation entraînent l'enregistrement pour des reconstitutions écologiques. Les changements, par contre, peuvent être facilement repérés puisqu'ils correspondent à des changements qualitatifs des taxons.

Pour Delance et *al.* (1993), les successions paléoécologiques se placent à la fin du cortège transgressif. Le remplacement est concomitant du maximum d'inondation. Dans le FBV de la Saoura, les remplacements se situent au maximum d'inondation et les successions écologiques se produisent à tout les moments de l'intervalle transgressif. La chute de la valeur de l'abondance est souvent corrélative de la diminution de la diversité. Pourtant dans les stratégies de colonisation, à une faible diversité, l'opportunisme d'un ou de deux taxons conduit à l'abondance; ceci est vérifié uniquement dans un seul cas (cycle 2 du «km 30»).

L'empilement des différents cycles s'organise en un intervalle transgressif, en rétrogradation («onlap») de 3^{ème} ordre, suivi par les marno-calcaires à goniatites (Formation du Cheffar Lahmar) en système aggradant (Ouali Mehadji, 2004). Cet épisode transgressif a permis l'installation d'une sédimentation de

DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE ET CYCLES EUSTATIQUES DE HAUTE FRÉQUENCE
DU « NIVEAU MAJEUR » DE MARHOUMA AU PASSAGE DÉVONIEN INFÉRIEUR - DÉVONIEN MOYEN
DE LA SAOURA (SAHARA NORD-OUEST, ALGÉRIE).

rampe carbonatée qui coïncide aussi avec l'arrêt des apports détritiques.

Cet événement se retrouve à l'échelle de toute la Saoura. Vers le sud-est, à Feguaguira, la condensation est moindre. Au Nord de Reggane (secteur de Lahmar), nous avons aujourd'hui des récoltes de brachiopodes identiques à ceux de la Saoura mais dans un niveau calcaire ne dépassant pas quelques mètres. C'est pour le moment, le point le plus méridional connu sur la plateforme saharienne représentant ce niveau majeur. Au Sud de Reggane et dans l'Ahnet, cette faune caractéristique du passage Emsien/ Eifélien se retrouve dans un intervalle (inférieur à 1,50 m) de grès ferrugineux conglomératique (faciès de débordement ou « washover » des auteurs anglo-saxons). Vers l'ouest, dans le bassin de Tindouf (Gara-Djebilet) et de Zemmour, on retrouve encore cette alternance marno-calcaire avec la même faune de brachiopodes. Les corrélations attestent de l'extension du FBV dans ces différents bassins (Tindouf, Zemmour, Maroc présaharien) (Ouali Mehadji, 2004). Villemur (1967) signale cette faune de brachiopodes, dans la coupe d'In-Dagoubar, dans le Nord du Taoudenni. Cette transgression de la fin de l'Emsien est donc générale à toute la partie occidentale du Sahara africain.

L'expression de cette transgression, annoncée par un niveau majeur à brachiopodes, est différente d'un secteur à un autre en fonction de la bathymétrie, de la position paléogéographique et du taux de production carbonatée par la faune benthique. Cette faune est contrôlée dans le FBV de la Saoura par des cycles eustatiques dont la fréquence se rapproche de celle de l'excentricité terrestre pendant le Dévonien (100 ka à 400 ka).

Remerciements : Sincères et vifs remerciements à R. Aït Ouali (USTHB, Alger) et D. Brice (I.S.A., Lille) pour leurs suggestions et critiques judicieuses. Un grand remerciement aux autorités locales de Béni-Abbes, Timimoun, Reggane et Tindouf.

BIBLIOGRAPHIE

- BOUMENDJEL, K., MORZADEC, P., PARIS, F., PLUS-QUELLEC, Y., BRICE, D., COPPER, P., GOURVENNEC, R., JAHNK, H., LARDEUX, H., LE MENN, J., MELOU, M. ET RACHEBOEUF, P. R. 1997.** Les faunes du Dévonien de l'Ougarta (Sahara occidental, Algérie). *Annale Société géologique du Nord*, 5 (2^{ème} série), pp. 89-116.
- BULTYNCK, P. AND WALLISER, O. 2000.** Devonian boundaries in the Moroccan Anti-Atlas. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 225, pp. 211-226.
- BULTYNCK, P., COEN-AUBERT, M. AND GODEFROID, J. 2000.** Summary of the state of correlation in the Devonian of the Ardennes (Belgium -NE France) resulting from the decisions of the SDS. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 225, pp. 91-114.
- BUSH, A. M., POWELL, M. G., ARNOLD, W. S., BERT, T. M. AND DALEY, G. M. 2002.** Time-averaging, evolution, and morphologic variation. *Paleobiology*, 28 (1), pp. 9-25.
- CAROLL, M., KOWALEWSKI, M., SIMOES, M. G. AND GOODFRIEND, G. A. 2003.** Quantitative estimates of time-averaging in terebratulid brachiopod shell accumulations from a modern tropical shelf. *Paleobiology*, 29 (3), pp. 381-402.
- CHLUPAC, I. 1985.** Comments on the lower Middle Devonian boundary. *Courier Forschungsinstitut Senckenberg*, 75, pp. 389-400.
- COPPER, P. AND RACHEBOEUF, P. R. 1985.** Devonian Atrypoid brachiopods from the Armorican massif, Northwestern France. *Palaeontology*, Abt A, 187, pp. 58-104.
- DELANCE, J.H., GARCIA, J.P. ET LAURIN, B. 1993.** Enchaînement de communauté à brachiopodes : succession et remplacement en sédimentation discontinue (Jurassique moyen, Bourgogne, France). *Paleoecology, Paleoclimatology, Palaeogeography*, 100, pp. 169-182.

- EFREMOV, J.A. 1950.** Taphonomie et annales géologiques. *Annale Centre Etude Documentaire, Paleontologie*, 4, 1-196. In : Fernandez-Lopez, S. (1991). Taphonomic concepts for theoretical biochronology. *Revista Espanol Paleontology*, 6(1), pp. 37-49.
- FERNADEZ-LOPEZ, S. 1991.** Taphonomic concepts for theoretical biochronology. *Revista Espanol Paleontology*, 6 (1), pp. 37-49.
- FERNANDEZ-LOPEZ, S. 1995.** Taphonomie et interprétation des paléoenvironnements. *Géobios, Mémoire Spécial*, 18, pp. 137-154.
- FÜRSICH, F.T. AND ABERHAN, M. 1990.** Significance of time averaging for palaeocommunity analysis. *Lethaia*, 23, pp. 143-152.
- FÜRSICH, F. T. AND PANDEY, D.K. 2003.** Sequence stratigraphic significance of sedimentary cycles and shell concentrations in the Upper Jurassic-Lower Cretaceous of Kachchh, Western India. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 193, pp. 285-309.
- GARCIA, J. P. 1993.** Les variations du niveau marin sur le bassin de Paris au Bathonien-Callovien. *Mémoire Géologie, Université Dijon*, 17, pp. 1-310.
- GÖDDERTZ, B. 1987.** Devonische Goniatiten aus SW-Algerien und ihre stratigraphische Einordnung in die Conodonten – Abfolge. *Palaeontographica A*, 197, pp. 127-220.
- HASENHÜTTL, C. AND HUBMANN, B. 1995.** Devonian shallow environments of the Graz Palaeozoic affected by rifting. Abstract in : Lathuilliere, B. & Geister, J. (éd.) Coral reefs, in the past, present and futur. *Proceeding 2nd European Regional Meeting.*, September 1994, *Publication Service géologique Luxembourg*, 29, pp. 52-54.
- HEDBERG, H. 1979.** Guide stratigraphique international (Traduction du texte anglais de 1976). *Doin (ed.)*, pp. 1-233.
- JANSEN, U., POLODOWSKI, G., SCHINDLER, E. AND WEDDIGE, K. 2004.** The Pragian at Assa (SW Dra Valley, Morocco), 64-68. in : Ahmed EL HASSANI editor: Devonian neritic-pelagic correlation and events in the Dra Valley (Western Anti-Atlas, Morocco). *International Meeting on Stratigraphy*, pp. 1-100.
- KIDWELL, S. M. 1982.** Time scales of fossil accumulation : patterns from Miocene benthic assemblages. *Third North American Paleontologist Convention Proceedings*, volume 1, pp. 295-300.
- KIDWELL, S.M. 1986.** Models for fossil concentrations, palaeobiologic implications. *Paleobiology*, 12, pp. 6-24.
- KIDWELL, S.M. 1989.** Stratigraphic condensation of marine transgressive records : origin of major shell deposits in the Miocene of Maryland. *Journal of Geology, Chicago*, 97, pp. 1-24.
- KIDWELL, M. S. AND JABLONSKI, D. 1983.** Taphonomic feed-back. Ecological consequences of shell accumulation. In : TEVESZ M. J. S. et McCALL P. (Eds), *Biotic interactions in recent and fossil communities. Pleunum Press, New-York*, pp. 195-248.
- KIDWELL, S. M. AND BOSENCE, D. 1991.** Taphonomy and time-averaging of marine shelly faunas. In Allison P.A. and Briggs D. (Eds) : *Taphonomy : Releasing the data locked in the fossil record. Pleunum Press, New York*, 9, pp. 195-248.
- KLUG, C. 2002.** Quantitative stratigraphy and taxonomy of Late Emsian and Eifelian ammonoids of the Eastern Anti-Atlas (Morocco). *Courrier Forschungsinstitut Senckenberg*, 238, pp. 1-109.
- KONDO, Y., ABBOT, S. T., KITAMARA, A., KAMP, P. J. J., NAISH, T. R., KAMATAKI T. AND SAUL, G. 1998.** The relationship between shell bed type and sequence architecture : examples from Japan and New Zealand. *Sedimentary Geology*, 122, pp. 109-127.

DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE ET CYCLES EUSTATIQUES DE HAUTE FRÉQUENCE
DU « NIVEAU MAJEUR » DE MARHOUMA AU PASSAGE DÉVONIEN INFÉRIEUR - DÉVONIEN MOYEN
DE LA SAOURA (SAHARA NORD-OUEST, ALGÉRIE).

- LE MAÎTRE, D. 1952.** La faune du Dévonien inférieur et moyen de la Saoura et des abords de l'Erg el Djemel (Sud oranais). *Matériel Carte géologique Algérie. Paléontologie*, 12, pp. 1-170.
- MARION, A. F. 1883.** Considérations sur les faunes profondes de la Méditerranée. *Annales Museum Histoire Naturelle, Marseille*, 1(2), pp. 1-50.
- NAISH, T. R. AND KAMP, P. J. J. 1997.** Sequence stratigraphy of the 6th order (41 k.y.) Plio-Pleistocene cyclothems, Wangani Basin, New Zealand : a case for the regressive systems tract. *Geological Society American Bulletin*, 109, pp. 978-999.
- OUALI MEHADJI, A. 2004.** Les brachiopodes du niveau majeur Emsien supérieur – Eifélien inférieur de la Saoura (Sahara Nord-occidental, Algérie), Marqueur évènementiel de la transgression fini-emsienne. (Paléontologie, Biostratigraphie, Taphonomie et Environnements sédimentaires). *Thèse Doctorat d'Etat, Université Oran*, 229p. (inédit).
- OUALI MEHADJI, A., ELMI, S., RACHEBOEUF, P.R. ET MEKAHLI, L. 2004.** Caractéristiques et signification d'un niveau majeur à brachiopodes. Marqueur évènementiel dans l'évolution dévonienne de la Saoura (Sahara du Nord-Ouest, Algérie). *Compte Rendu Geosciences*, 336, pp. 1283-1292.
- PELHÂTE, A. 1981.** Les microfaciès ; 19 – 23, Pl. 1. *In* : Morzadec *et al.*, Coord. : La tranchée de la Lézais. Emsien supérieur du massif armoricain, sédimentologie, paléontologie, stratigraphie. *Mémoire Société géologique minéralogique de Bretagne*, 24, pp. 1-309.
- PETTER, G. 1959.** Goniatites dévoniennes du Sahara. *Publication Service Carte géologique. Algérie*, (nouvelle série), *Paléontologie*, Mémoire 2, pp. 1-313.
- PIRES, J. M. ET PICARD, J. 1964.** Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Extrait Revue Travaux Société marine Endoume*, 31, 47, pp. 1-128.
- PLUSQUELLEC, Y. 1997.** Coraux Tabulata et Rugosa. *In* : BOUMENDJEL *et al.*, Les faunes du Dévonien de l'Ougarta (Sahara occidental, Algérie). *Annales Société géologique du Nord*, 5, 2^{ème} série, pp. 95-99.
- ROUX, M. 1992.** Critères biologiques d'estimation paléobathymétrique : pour une démarche scientifique autonome permettant de tester les multiples hypothèses structurales ou sédimentologiques. *Paleovox*, 1, pp. 7-14.
- SANDBERG, C. AND ZIEGLER, W. 1996.** Devonian conodont biochronology in geologic time calibration. *Senckenbergiana Lethaia*, 76, pp. 259-265.
- SOLLE, G. 1971.** *Brachyspirifer* und *Paraspirifer* im Rheinischen Devon. *Abhandlungen des hessischen Landesamtes für Bodenforschung*, 59, pp. 1-163.
- THIERRY, J. 1997.** Biostratigraphie. Du taxon à la biozone et aux échelles biozonales. *In* : REY, J. (Coord.) : Stratigraphie. Terminologie française. Comité français de Stratigraphie. *Bulletin Centre Recherche Exploration-Production*, Mémoire 19, pp. 63-89.
- VILLEMUR, J. R. 1967.** Reconnaissance géologique et structurale du Nord du bassin de Taoudenni. *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, 51, pp. 1-151.
- WEDDIGE, K. 1996.** Beitrag Zu Gemeinschaftsaufgaben der deutschen subkommission für Devon-stratigraphie. 1 : Devon-Korrelationstabelle. *Senckenbergiana Lethaia*, 76, pp. 267-286.
- YANG, W. AND KOMINZ, M. 2002.** Characteristics, stratigraphic architecture, and time framework of multi-order mixed siliciclastic and carbonate depositional sequences, outcropping Cisco Group (Late Pennsylvanian and Early Permian), Eastern Shelf, North Texas, USA. *Sedimentary Geology*, 154, pp. 53-84.
- ZIEGLER, W. 2000.** The lower Eifelian Boundary. *Courrier. Forschungsinstitut Senckenberg*, 225, pp. 37-47.