

REVUE DE

VOLUME 34(2) – 2015

# PALÉOBIOLOGIE

**m**séum  
genève

Une institution  
Ville de Genève

[www.museum-geneve.ch](http://www.museum-geneve.ch)





## Barrémo-Aptien de l'Oued Zarga en Tunisie nord-orientale : Etude micropaléontologique et géochimique

Abdallah ELKHAZRI<sup>1,2,\*</sup>, Saloua RAZGALLAH<sup>3</sup>, Hassen ABDALLAH<sup>1</sup> & Mohsen RABHI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centre de Recherches et des Technologies de l'Energie, Technopole Borj Cédria, BP 95, 2050 Hammam-Lif, Tunisie. E-mail: elkhazriabdallah@yahoo.fr; Hassen.Abdallah55@gmail.com

<sup>2</sup> Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences de Gabès, Université de Gabès, Cité Erriadh, 6072 Zrig, Gabès, Tunisie

<sup>3</sup> Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences de Tunis, Université de Tunis El Manar, 1060 Tunis, Tunisie. E-mail: sarazgallah@yahoo.fr

\* Auteur correspondant. Adresse e-mail: elkhazriabdallah@yahoo.fr (Elkhazri A.)

### Résumé

En Tunisie nord-orientale, le Barrémo-Aptien révèle une sédimentation marneuse avec des intercalations carbonatées. Les alternances de l'Aptien inférieur contiennent de la matière organique dans de faibles proportions. Une approche multidisciplinaire a été appliquée dans cette étude: données lithologiques, analyses de microfaciès, données micropaléontologiques, sédimentologiques et le contenu en matière organique.

Cette série enregistre un apport important en quartz détritique et révèle également des foraminifères planctoniques et benthiques ainsi que des radiolaires. La coexistence des foraminifères planctoniques et des radiolaires associés à des formes benthiques de grandes tailles et du quartz détritique attestent des paléoenvironnements particuliers à cette zone. Ces niveaux carbonatés de l'Aptien inférieur, contenant très peu de matière organique, sont caractérisés par des pourcentages élevés en foraminifères planctoniques à loges radialement allongées appartenant au genre «*Leupoldina*» ainsi que par un taux important en radiolaires.

Trois événements biologiques notables accompagnent l'OAE-1a associé à la partie supérieure de l'Aptien inférieur: (1) la première apparition de *Leupoldina cabri* et son acmé; (2) l'abondance des radiolaires; et (3) la présence de la matière organique, bien que peu importante. Toutefois, ces leupoldines se seraient développés latéralement dans des environnements déficients en oxygène, à l'est, et se trouvent ensuite, introduits par dérivation, dans le site d'Oued Zarga qui était plus oxygéné; il s'agit donc d'un milieu de fossilisation et non de reproduction. En Tunisie, l'événement dysaérobie OAE-1a est diachrone et limité à sa partie septentrionale, alors que l'Aptien supérieur est caractérisé par une sédimentation essentiellement marneuse contenant des foraminifères planctoniques à loges globuleuses appartenant au genre '*Globigerinelloides*' avec du benthos de grande taille (*Epistomina*, *Lenticulina*, etc.) et de fréquents agglutinés.

### Mots-clés

Barrémien-Aptien, Événement dysaérobie/anoxique, «OAE-1a», Foraminifères planctoniques, Leupoldines, Foraminifères benthiques, Radiolaires, Tunisie nord-orientale.

### Abstract

**Barremian-Aptian of Oued Zarga, northeastern Tunisia: micropaleontological and geochemical study.**- In northeastern Tunisia the Barremo-Aptian series are characterized by marly and limestone intercalations with some organic-poor deposits. The considered section is studied using an integrated multidisciplinary approach including lithological studies, microfacies analyses, micropaleontological investigations, sedimentological data and organic geochemistry.

The considered series is siliciclastic-rich and yields abundant communities of planktonic and benthic foraminifera, as well as radiolarians. The significant co-occurrence of the planktonic organisms and the benthic ones as well as the siliciclastic deposits indicates a particular paleoenvironment setting of the studied site.

These lower Aptian carbonated levels, including small amounts of organic matter, are characterized by high percentages of planktonic foraminifera with radially elongated chambers belonging to the "*Leupoldina*" genus which are associated to an important proportion of radiolarians. Three substantial biologic events are associated with this slight oxygen deficiency in the upper part of the lower Aptian: (1) the first apparition of *Leupoldina cabri* and its abundance, (2) the radiolarian bloom, and (3) the occurrence of organic-poor deposits. However, these leupoldines would appeared eastwards within oxygen-deficient environments, and then are intruded by derivation in Oued Zarga site which was more oxygenated; it is therefore a fossilization environment rather than a reproduction site. The anoxic event OAE-1a is diachronous and restricted to the northern part of Tunisia. The upper Aptian is characterized by

almost marly sedimentation including planktonic foraminifera with globular chambers of the '*Globigerinelloides*' genus. At the same time appear abundant big size benthic (*Epistomina*, *Lenticulina*, etc.) and agglutinate forms.

### Keywords

Barremian-Aptian, OAE-1a 'Dysoxic/Anoxic event', Planktonic foraminifers, *Leupoldina cabri*, Benthic foraminifers, Radiolarian, Northeastern Tunisia.

## 1. INTRODUCTION

Le dépôt de niveaux riches en matière organique au Crétacé représente des événements anoxiques à large répartition mondiale. Cette large distribution est à l'origine du concept d'événement anoxique océanique (OAEs) (Schlanger & Jenkyns, 1976). Concernant la Téthys, plusieurs auteurs ont focalisé leurs travaux sur l'OAE-1a de l'Aptien inférieur (e.g. Arthur & Schlanger, 1979; Agüedo *et al.*, 1999; Jenkyns, 1980; Cobianchi *et al.*, 1997, 1999; Menegatti *et al.*, 1998; Kuhnt *et al.*, 1998, 2011; Moullade *et al.*, 1998; Bralower *et al.*, 1999; Bellanca *et al.*, 2002; Leckie, 2002; Rückheim & Mutterlose, 2002; de Gea *et al.*, 2003, 2008; Erba, 2004; Föllmi *et al.*, 2006; Luciani *et al.*, 2006; Godet *et al.*, 2006; Dumitrescu & Brassell, 2006; Danelian *et al.*, 2007; Heldt *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2008; Mutterlose *et al.*, 2009; Lehmann *et al.*, 2009; Föllmi, 2012; Elkhazri, 2012; Elkhazri *et al.*, 2009, 2013 et Godet *et al.*, 2014).

En Tunisie, les niveaux riches en matière organique sont caractérisés par les dépôts calcaires laminés des Formations M'Cherga (*pro parte*), Allam, Mouelha et Bahloul, appartenant aux événements OAE-1 et OAE-2. L'événement OAE-1a est encore peu connu, et les dépôts correspondants de l'Aptien inférieur, dans la région étudiée, ont été mentionnés succinctement par Memmi et Maamouri (1974), Salaj & Maamouri (1978), Salaj (1980) et Ammar Khayati (1996). Récemment, des travaux de géochimie organique ont été entrepris dans ces niveaux (Abbassi, 2008) auxquels est associée dans certaines études la signature du carbone isotopique de l'OAE-1a comme au Jebel Serj (Centre-nord de la Tunisie) par Heldt *et al.* (2008) et Lehmann *et al.* (2009) et au Jebel Ammar (Tunisie nord-orientale) par Elkhazri (2012), Elkhazri *et al.* (2013) et, récemment les travaux de Godet *et al.* (2014), dans le secteur Bir Oum Ali de la chaîne nord des Chotts en Tunisie centrale.

Ce travail est basé sur une étude lithologique détaillée, une analyse micropaléontologique (foraminifères) et de microfaciès ainsi que sur des données géochimiques de la coupe Oued Zarga (Tunisie nord-orientale). Il s'agit d'une étude de l'événement 'OAE-1a' sur la marge sud de la Téthys dans une position intermédiaire entre la plate-forme de la Tunisie centrale, au sud, et le bassin non loin de cet affleurement. Cette étude a trois objectifs: (A) L'analyse sédimentologique dans le but de reconstruire les paléoenvironnements au cours du Barrémien-Aptien; (B) La description, la localisation et l'analyse géochi-

mique des niveaux à matière organique de l'Aptien inférieur tout en retraçant l'influence de la plate-forme sur la préservation de cette matière organique; (C) L'analyse quantitative de l'ensemble des foraminifères planctoniques et benthiques, leur rapport, ainsi que les radiolaires, dans le but de mieux caractériser les paléomilieux correspondants.

### 1.1. Cadre géographique et géologique

La coupe Oued Zarga est située à la sortie de l'Autoroute Tunis-Mejez El Bebi (Carte Géologique d'Oued Zarga, feuille n° 26; 1/50.000), entre les parallèles 8°5' et 9°5' et les méridiens 40°67' et 40°75'. La coupe se trouve du côté nord-est d'Oued Ez Zerkour et au sud de Henchir Djerass (Fig. 1). Les dépôts situés au-dessous de la série étudiée comprennent des lambeaux de Jurassique puis une série étendue datée du Crétacé inférieur allant du Valanginien jusqu'à l'Albien.

### 1.2. Matériel et méthodes

L'étude a porté sur 45 échantillons prélevés dans l'intervalle Barrémien-Aptien de l'Oued Zarga. Cette analyse est d'ordre micropaléontologique, biostratigraphique, sédimentologique et géochimique. Pour l'étude des foraminifères planctoniques et benthiques, nous avons procédé à une analyse quantitative et qualitative de chaque échantillon. Pour un échantillon donné, on a lavé une même quantité de sédiments (100 g). Ainsi l'abondance de chaque espèce est estimée selon sa fréquence (nombre d'espèces/g sédiment). Dans cette étude quantitative, nous avons adopté un nombre minimum de 100 individus de foraminifères qui vont servir aux comparaisons. La totalité des espèces a été examinée pour établir la liste complète des foraminifères. La matière organique a été étudiée par la méthode de pyrolyse Rock-Eval (Espitalié *et al.*, 1977; Crumière & Espitalié, 1989). Cette technique consiste à analyser quantitativement les composés hydrocarbonés et oxygénés au cours du chauffage de la roche brute en programmation de température de 300 à 650°C durant la phase de pyrolyse et de 300 à 850°C durant la phase d'oxydation et à une vitesse de chauffe respectivement de 25°/mn et 20°/mn sous atmosphère inerte (hélium). Ces analyses ont été réalisées dans le Laboratoire de Géochimie Organique au sein de «l'Entreprise Tunisienne d'Activités Pétrolières, Tunisie».

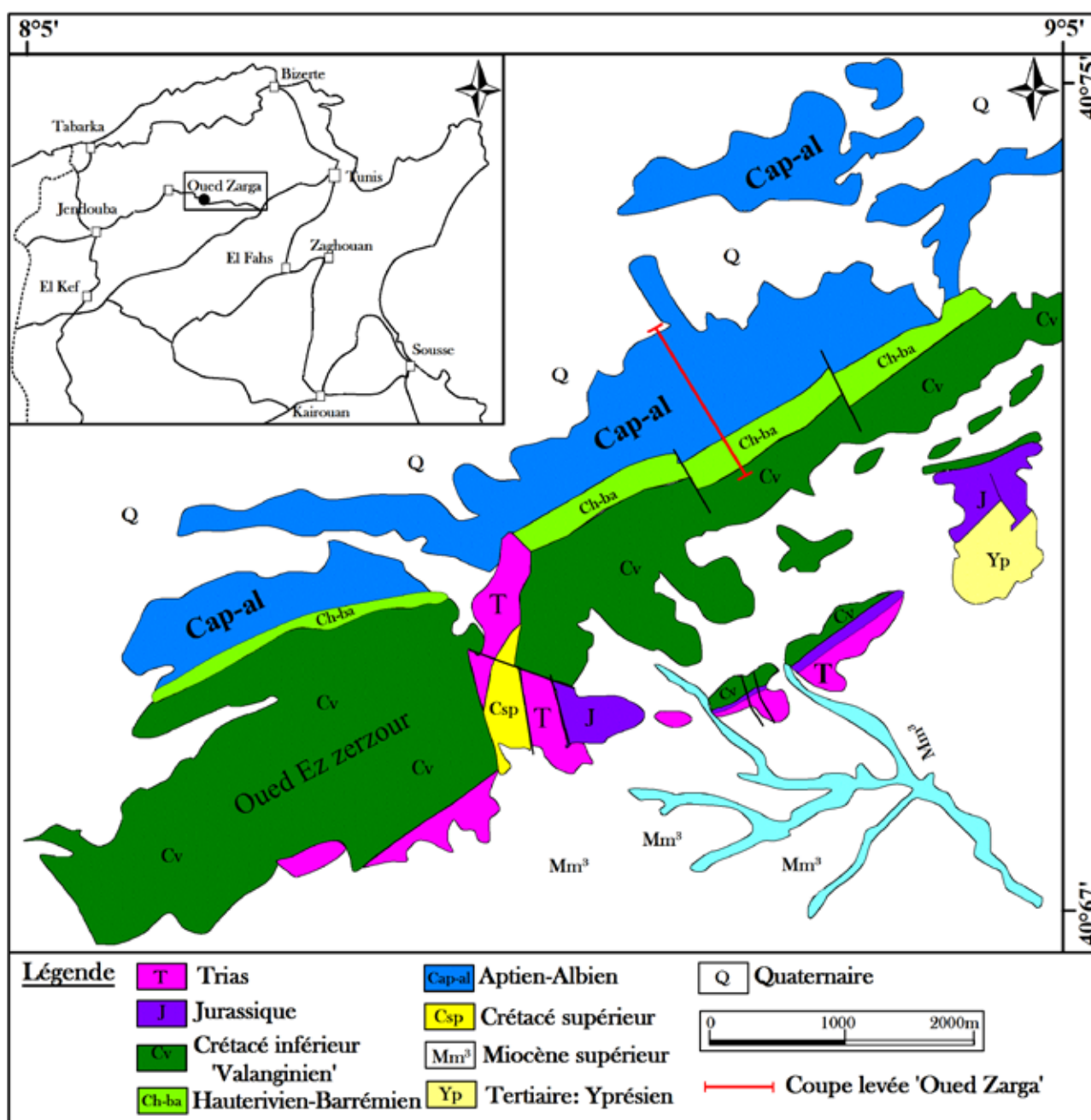


Fig. 1: Cadres géographique et géologique du secteur d'étude.  
Fig. 1: Geographic and geologic frameworks of the study area.

L'étude micropaléontologique des foraminifères benthiques est basée sur la classification taxonomique établie essentiellement dans les travaux de Bartenstein & Brand (1951) et Neagu (1975). La classification des foraminifères planctoniques est basée essentiellement sur les travaux de Loeblich & Tappan (1964, 1984), Moullade (1966, 1974) et Bellier & Moullade (2002). D'autres travaux sont pris également en considération : Sigal (1952, 1977, 1987), Longoria (1974), Robaszynski & Caron (1979, 1995), Premoli Silva & Sliter (1995), Bralower *et al.* (1999), Erba *et al.* (1999), Verga & Premoli Silva

(2002, 2003a, b, 2005), Chida-Ben Haj Ali (2005) et Moullade *et al.* (2002, 2005, 2008, 2010).

## 2. DESCRIPTION LITHOLOGIQUE ET ANALYSE BIOSTRATIGRAPHIQUE

Le Barrémien-Aptien est épais de 172 m et comprend des marnes qui alternent avec des bancs carbonatés gris à gris foncé. On distingue de la base au sommet (Fig. 2) :

2.1. Unité 1 (Echs 1-6)

Epaisse de 18 m, elle est essentiellement argileuse et comprend deux niveaux carbonatés. L'échantillon 3 a livré: *Praehedbergella sigali*, *P. primare*, *Gorbachikella depressa* et des micro-hedbergelles. Dans les échantillons 5 et 6 s'ajoutent à l'association précédente: *Gorbachikella kugleiri*, *G. anteroapertura* et *Blowiella*

*duboisi*, *Ammobaculites* sp., *Trocholina* sp., *Gavelinella* sp., *Lenticulina nodosa*, *L. guttata*, *L. crepidularis*, *L. eichenbergi*, *L. ouachensis*, *Nodosaria sceptrum*, *Dentalina distincta*, *D. oligostegia*, *Gavelinella barremiana*, *Pyrulina infracretacea*, *Ammodiscus cretaceus* et des Textularidés. Les niveaux carbonatés (Echs 2, 4) d'épaisseurs respectives 0,5 et 1 m ont une texture

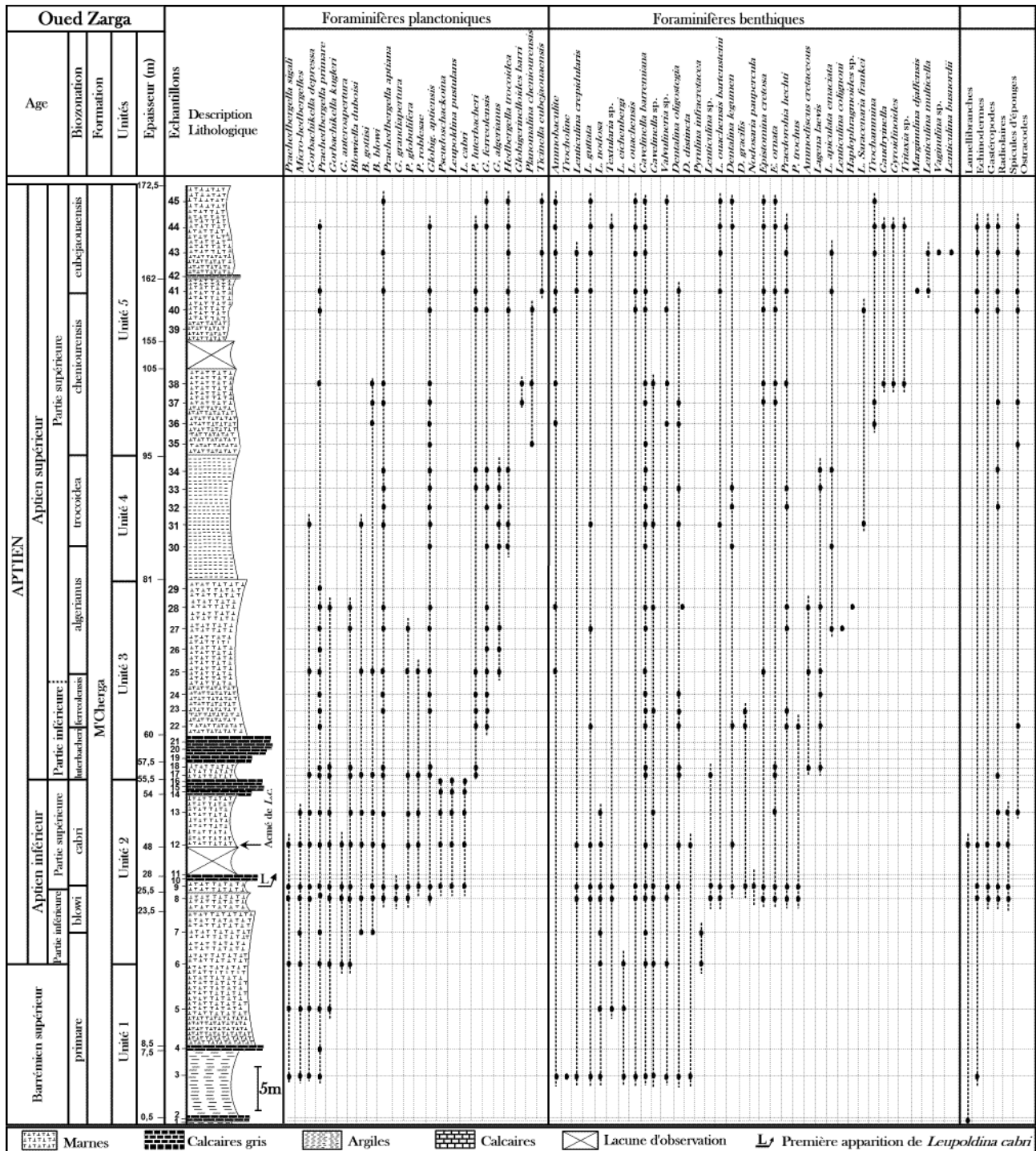


Fig. 2: Analyse biostratigraphique du Barrémo-Aptien d'Oued Zarga.  
 Fig. 2: Biostratigraphical analysis of the Barremo-Aptian at Oued Zarga.

mudstone contenant des sections de *Lenticulina* sp., *Praedorothia* sp. pyritisée, *Dentalina* sp. associées à des lammellibranches, échinodermes et à de rares radiolaires. Dans l'échantillon 6, on note l'extinction du foraminifère benthique *Lenticulina eichenbergi*.

## 2.2. Unité 2 (Echs 7-16)

Il s'agit de marnes intercalées avec de rares bancs carbonatés d'une épaisseur totale de 37,5 m.

**La partie inférieure** (Echs 7-8) a fourni les foraminifères planctoniques suivants: *Blowiella duboisi*, *Praehedbergella sigali*, *P. primare*, *Gorbachikella kugleiri*, *G. depressa*, *G. anteroapertura* et des micro-hedbergelles.

Au niveau de l'échantillon 9, on marque la première apparition de l'espèce *Leupoldina cabri* associée à *Praehedbergella globulifera*, *P. roblesae*, auxquelles s'ajoutent les espèces présentes dans les échantillons précédents. Parallèlement, on note la présence du groupe *blowi-duboisi-gottisi*, *Globigerinelloides aptiensis* et des micro-hedbergelles. Les foraminifères benthiques sont représentés par: *Lenticulina crepidularis*, *L. guttata*, *L. nodosa*, *L. ouachensis*, *L. ouachensis bartensteini*, *Lenticulina* sp., *Praedorothia hechti*, *P. trochus*, *Gavelinella barremiana*, *G. sp.*, *Valvulineria* sp., *Epistomina cretosa*, *E. ornata*, *Pyrulina infracretacea*, *Textularia* sp., *Dentalina legumen*, *D. gracilis*, *D. oligostegia*, *Nodosaria paupercula*.

Ces foraminifères sont associés à des lamellibranches, échinodermes, spicules d'éponges et à de rares radiolaires. Les calcaires gris, métriques (Echs 10-11), de texture mud-wackestone, révèlent des sections de foraminifères planctoniques (sections de *Gorbachikella* sp. à quatre loges globuleuses au dernier tour et des planctons pyritisés, indéterminés, à six loges au dernier tour, *Hedbergella* sp.), des formes benthiques (*Gavelinella* sp. dont certaines à loges partiellement pyritisées) et de rares radiolaires avec un important apport quartzeux et des lamines de matière organique (Fig. 3: photos 1-8). Au-dessus existe une lacune d'affleurement de 20 m d'épaisseur.

**La partie supérieure** de cette unité (Echs 12-16) comprend des foraminifères planctoniques à loges allongées appartenant aux genres *Leupoldina* et *Praehedbergella* qui deviennent abondants dans les niveaux 12 et 13: *Leupoldina cabri*, *L. pustulans*, *Pseudoschackoina*, *Praehedbergella globulifera*, *P. roblesae*, *P. sigali*, *P. primare*, *P. aptiana*, *P. infracretacea*, *Blowiella duboisi*, *B. gottisi*, *B. blowi* et *Globigerinelloides aptiensis*. Le sommet de cette partie comprend un banc calcaire de 1,5 m d'épaisseur (Echs 14-16) montrant un microfaciès mud-wackestone à petits foraminifères planctoniques et benthiques mélangés à un fin détritit avec toujours un important apport quartzeux (Fig. 4: phs 1, 2). A ce fin matériau du niveau 16 s'associent des lamines discontinues comprenant plutôt des foraminifères et des débris nettement plus gros. Il est clair que le matériau fin

représente la sédimentation *in situ* alors que le microfaciès plus grossier représente un sédiment en provenance (par glissement) de positions plus en amont. Le sens du déplacement est indiqué par la pointe de la lamine à gros débris (Fig. 4: ph. 5).

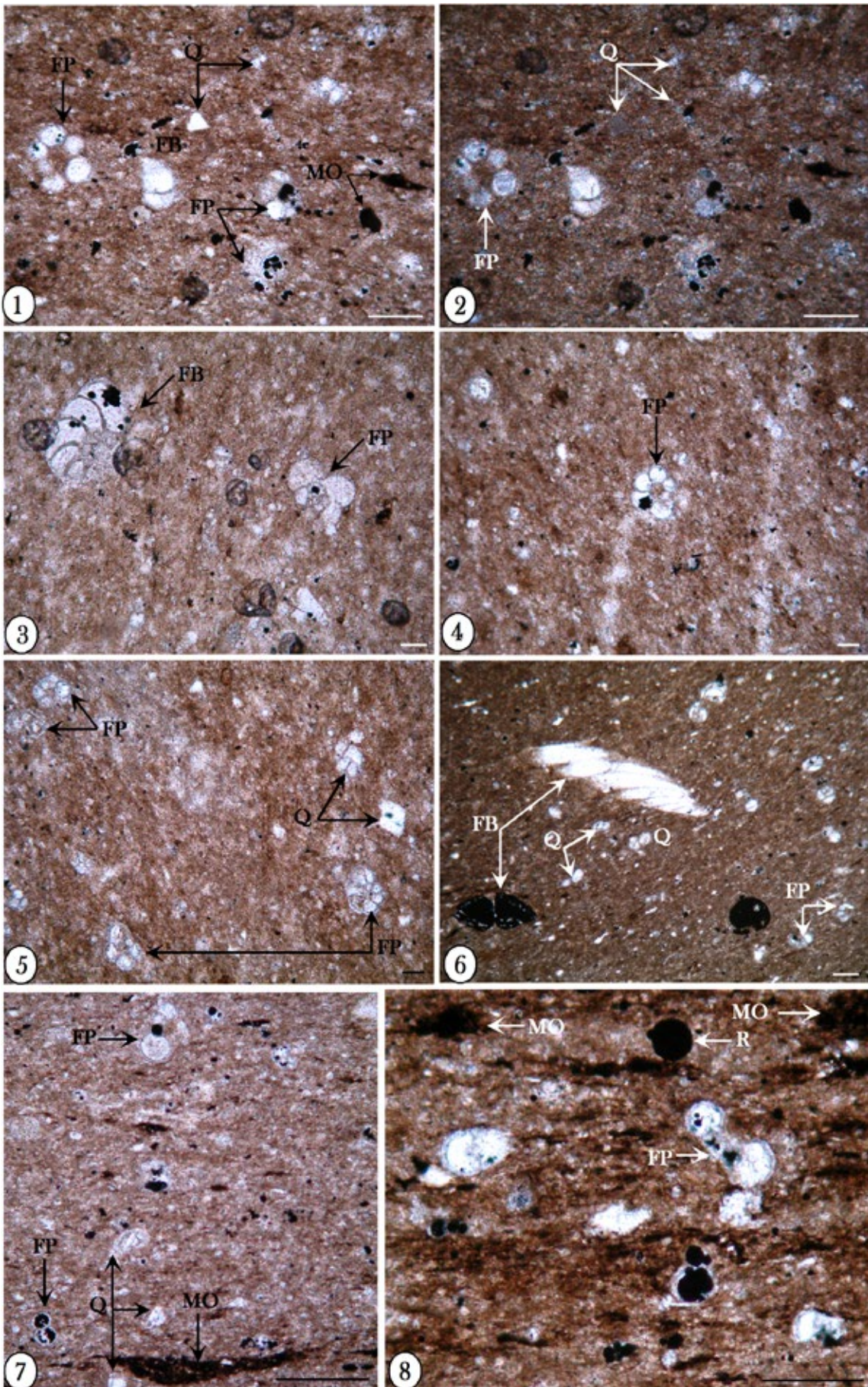
Le déplacement de ces lamines avait provoqué l'apparition de certains plans de faiblesse, situés au-dessus et au-dessous des lamines (Fig. 4: phs 6, 7: Lhy) constituant des lieux privilégiés de migration des hydrocarbures; ces derniers sont piégés ensuite dans des vides comme ceux des loges de certains foraminifères (Fig. 4: phs 3, 4), ou bien dans des stylolites qui favorisent également la migration des hydrocarbures (Fig. 4: phs. 1, 2). On note aussi des radiolaires, des grains de quartz et de la matière organique (Fig. 4: phs. 8-10).

## 2.3. Unité 3

Cette unité d'épaisseur totale 25,2 m (Echs 17-29) est formée par une entité marneuse coupée par un niveau carbonaté. La base de cette unité (Echs 17-18) (2 m) a révélé les espèces planctoniques suivantes: *Praehedbergella globulifera*, *P. roblesae*, *P. sigali*, *P. primare*, *P. aptiana*, *P. infracretacea*, *Blowiella duboisi*, *B. gottisi*, *B. blowi*, *Globigerinelloides aptiensis*, *P. luterbacheri* et *Globigerinelloides ferreolensis*. Ils sont associés aux foraminifères benthiques: *Gavelinella barremiana*, *Lenticulina ouachensis*, *Dentalina oligostegia*, *Epistomina ornata*, *Lagena laevis* et à de rares radiolaires. A ce niveau on note la disparition totale des *Leupoldina*.

Le banc carbonaté suivant (3 m), (Echs 19-21) est de texture mud-wackestone à foraminifères planctoniques et benthiques à loges remplies d'hydrocarbures alors que les tests restent limpides (Fig. 5: phs 1-4: FP); les lamines discontinues de matière organique concentrée prouvent la maturation de cette matière et la migration des hydrocarbures générés (Fig. 3: phs 7, 8; Fig. 5: phs 1, 2: MO). Certaines taches noires sont de la pyrite comme le prouvent leur forme cubique et leur situation à cheval entre la matrice et les loges des foraminifères (Fig. 5: ph. 3: Py). L'apport détritit devient très important à l'échantillon 20, avec des foraminifères planctoniques (FP) et de rares benthiques (FB) de grande taille appartenant au genre *Epistomina* (Ep) (Fig. 6: phs 1-4).

Les échantillons 22-29 ont fourni une microfaune abondante constituée par des foraminifères planctoniques: *Gorbachikella kugleiri*, *G. anteroapertura*, *Blowiella duboisi*, *B. gottisi*, *B. blowi*, *Praehedbergella primare*, *P. luterbacheri*, *P. aptiana*, *P. roblesae*, *P. globulifera*, *Globigerinelloides aptiensis*, *G. ferreolensis* et *G. algerianus* et des benthiques: *Lenticulina guttata*, *Gavelinella barremiana*, *G. sp.*, *Dentalina legumen*, *D. gracilis*, *D. oligostegia*, *Epistomina cretosa*, *Praedorothia hechti*, *P. trochus*, *Ammodiscus cretaceous*, *Lagena laevis*, *L. apiculata emaciata*, *Haplophragmoides* sp. et de rares ostracodes.



#### 2.4. Unité 4 (Echs 30-34)

Il s'agit d'une entité argileuse d'épaisseur 14 m qui a fourni les espèces suivantes: *Blowiella duboisi*, *B. gottisi*, *Praehedbergella aptiana*, *P. primare*, *P. luterbacheri*, *Globigerinelloides aptiensis*, *G. algerianus*, *G. ferreolensis* et *Hedbergella trocoidea*. Ces foraminifères planctoniques sont associés aux espèces benthiques: *Gavelinella barremiana*, *G. sp.*, *Lenticulina guttata*, *L. saracenaria frankei*, *L. ouachensis bartensteini*, *Lagena laevis*, *L. apiculata emaciata*, *Dentalina legumen*, *D. oligostegia*, *Pseudonodosaria* et *Praedorothia hechti* auxquelles s'ajoutent des textularidés et de rares radiolaires.

#### 2.5. Unité 5 (Echs 35-45)

Il s'agit de marnes épaisses de 77,5 m intercalées par un niveau carbonaté (Ech. 42; épais de 40 cm). L'intervalle des échantillons 35-38 contient des *Dentalina oligostegia*, *Epistomina cretosa*, *E. ornata*, *Gavelinella barremiana*, *Valvulineria sp.*, *Praedorothia hechti*, *Tritaxia sp.*, *Ammobaculites sp.*, *Trochammina sp.* et *Gaudryinella sp.* On note également la présence de rares ostracodes et radiolaires. Les foraminifères planctoniques présents sont: *Globigerinelloides aptiensis*, *G. barri*, *Planomalina cheniourensis*, *Blowiella blowi*, *Praehedbergella aptiana* et *P. primare*.

Vient ensuite une lacune d'observation (50 m). Le banc 39 est stérile. Toutefois, le niveau 40 a révélé presque la même association faunistique que les échantillons 37 et 38.

La partie supérieure de cette unité (Echs 41-45) comprend des foraminifères planctoniques et benthiques abondants et diversifiés. On trouve des: *Hedbergella trocoidea*, *Praehedbergella primare*, *P. aptiana*, *P. luterbacheri*, *P. praetrocoidea*, *Globigerinelloides aptiensis*, *G. ferreolensis*, *Ticinella eubejaouaensis*, *Marginulina djaffaensis*, *Lagena apiculata emaciata*, *Praedorothia*

*hechti*, *Lenticulina ouachensis*, *L. crepidularis*, *L. guttata*, *L. multicella*, *L. ouachensis bartensteini*, *L. busnordii*, *Epistomina ornata*, *Gavelinella barremiana*, *Dentalina oligostegia*, *D. legumen*, *Textularia sp.*, *Vaginulina sp.*, *Trochammina sp.*, *Ammobaculites sp.* et de rares ostracodes et radiolaires.

### 3. CHRONOSTRATIGRAPHIE ET BIOZONATION

#### 3.1. Interprétation chronostratigraphique

**Unité 1:** La présence de l'espèce *Lenticulina eichenbergi* dans cette première unité permet de lui attribuer un âge barrémien supérieur. La limite Barrémien/Aptien inférieur est placée vers l'échantillon 6 au niveau duquel s'éteint l'espèce *L. eichenbergi*. Cette dernière espèce à granulations suturales ne franchit jamais la limite supérieure du Barrémien (Moullade, 1966; Neagu, 1975).

**Unité 2:** L'espèce *Leupoldina cabri* marque sa première apparition dans l'échantillon 9 indiquant ainsi la partie moyenne de l'Aptien inférieur. L'association des foraminifères benthiques et surtout planctoniques permet d'attribuer un âge aptien inférieur pour cette unité.

**Unité 3:** L'apparition de *Praehedbergella luterbacheri* dans l'échantillon 17 indique la partie basale de l'Aptien supérieur. De ce fait le passage Aptien inférieur/Aptien supérieur est situé avec l'échantillon 16.

**Unité 4:** La présence de l'espèce marqueur *Hedbergella trocoidea* permet d'attribuer cette unité à la partie moyenne à supérieure de l'Aptien supérieur.

**Unité 5:** La première apparition de l'espèce marqueur *Planomalina cheniourensis* se fait à l'échantillon 35. Tandis que l'espèce *Ticinella eubejaouaensis* marque sa première apparition vers le niveau 41 (Echs 41-45) indiquant ainsi la partie supérieure de l'Aptien supérieur.



Fig. 3: Microfaciès de l'Aptien inférieur

Photos 1, 2: 1, Wackestone bioclastique à foraminifères planctoniques (FP) et benthiques (FB) riche en grains de quartz (Q) avec de la matière organique (MO); calcaires gris de l'Aptien inférieur, 2, Photographie en lumière polarisée montrant la richesse en grains de quartz (Ech. 10).

Photos 3-5: Wackestones contenant des foraminifères planctoniques (FP) et benthiques (FB) riches en quartz détritique (Q) (Ech. 10).

Photos 6-8: Microfaciès laminé contenant des foraminifères planctoniques (FP) et benthiques (FB) et des radiolaires (R) avec des grains de quartz (Q), à matière organique (MO) concentrée dans les loges de foraminifères: calcaires gris de l'Aptien inférieur (Ech. 11).

La barre d'échelle représente 50 µm

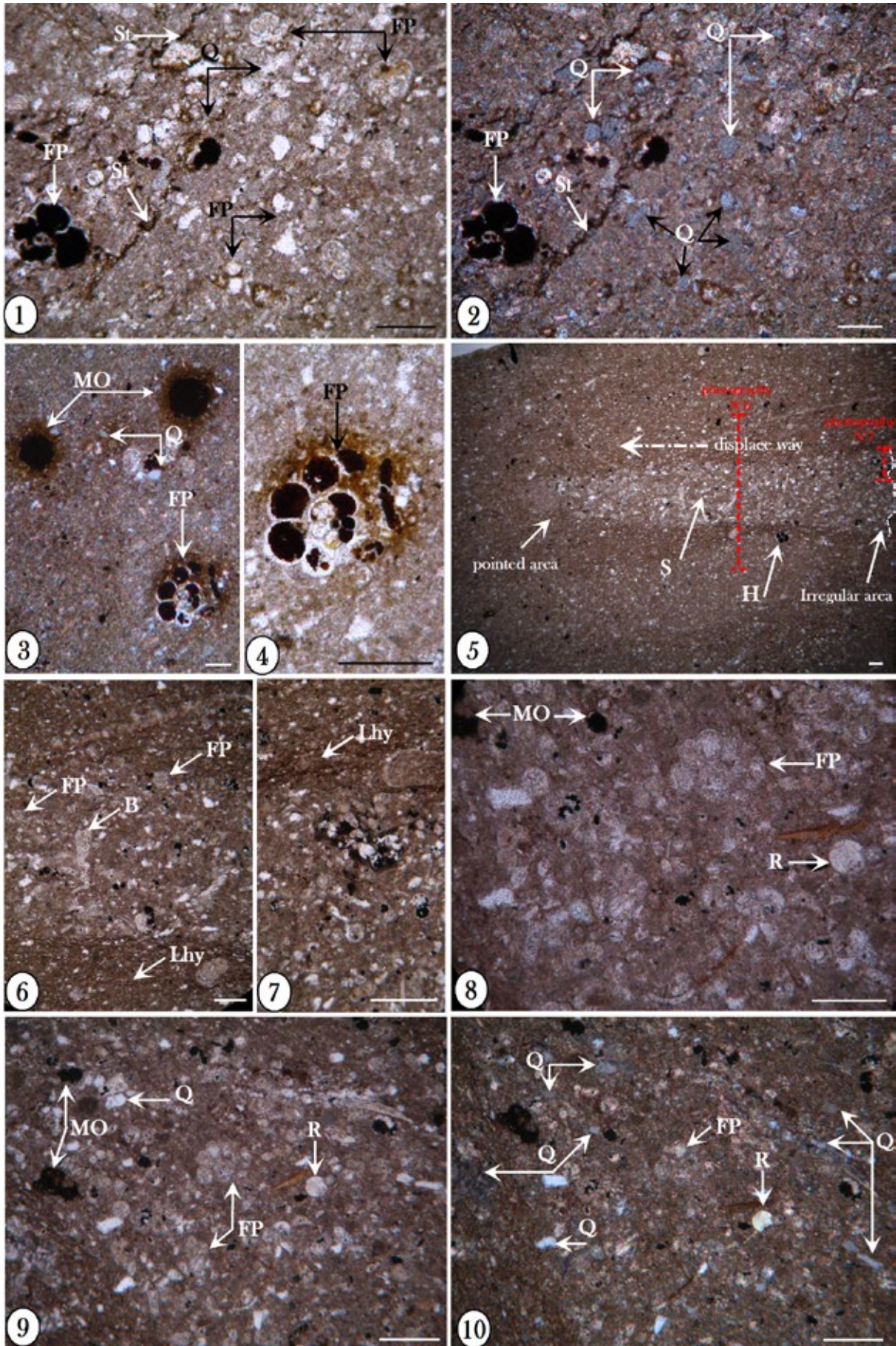
Fig. 3: Lower Aptian microfacies

Photos 1, 2: 1, Wackestone with planktonic (FP) and benthic foraminifera (FB); quartz-rich limestone (Q) with organic matter (MO); grey limestone of the lower Aptian; 2, Sample showing the quartz grains richness using polarized light (sample 10).

Photos 3-5: Wackestone with planktonic (FP) and benthic foraminifera (FB) with siliciclasts input (Q) (sample 10).

Photos 6-8: Laminated microfacies with planktonic (FP) and benthic foraminifera (FB), radiolarians (R), quartz-rich facies, organic matter as lamina (ph. 7) but that is more concentrated in the foraminifera chambers: grey limestones of the lower Aptian (sample 11).

Scale bar represents 50 µm.



### 3.2. Biozonation micropaléontologique

La biozonation adoptée dans ce travail s'inspire de celles établies pour le domaine méditerranéen (Sigal, 1977, 1987; Sliter, 1989; Coccioni *et al.*, 1992; Coccioni & Premoli Silva, 1994; Premoli Silva & Sliter, 1999; Verga & Premoli Silva, 2005; Chida-Ben Haj Ali, 2005). Dans notre étude le découpage zonal choisi est celui établi par Moullade *et al.* (2002, 2008, 2010, 2011) en utilisant les mêmes marqueurs. La série étudiée du Barrémien-Aptien comprend les zones suivantes :

**Zone à *Praehedbergella primare* (Zone du Barrémien supérieur)** : Il s'agit d'une zone d'intervalle dont la base correspond à l'apparition de *Praehedbergella primare* 'indicateur de zone' et au sommet à la première apparition de *Blowiella blowi*. Cette zone couvre l'intervalle du Barrémien supérieur jusqu'à la partie inférieure de l'Aptien inférieur. Cette zone comprend l'association suivante : *Gorbachikella kugleiri*, *G. depressa*, *Praehedbergella sigali*, *P. aptiana*, *P. primare*, *Globigerinellodes duboisi*, *Lenticulina ouachensis*, *L. nodosa*, *L. ouachensis bartensteini*, *L. eichenbergi*, *Gavelinella*

*barremiana*, *Lagena apiculata emaciata*, *Praedorothia* sp., *P. hechti*, *Dentalina oligostegia*, *D. gracilis*, *D. distincta*, *D. legumen*, *Epistomina ornata*, *Nodosaria nuda* associés à des micro-*Hedbergella*. L'espèce *Praehedbergella primare* est observée et adoptée pour la première fois en Tunisie et constitue un marqueur de zone (Elkha-zri *et al.*, 2013).

**Zone à *Blowiella blowi*** : L'Aptien est subdivisé en huit zones dont *Blowiella blowi* correspondant à la première zone. Il s'agit d'une zone d'intervalle; sa base est indiquée par la première apparition de l'espèce index et son sommet par l'apparition de l'espèce *Leupoldina cabri*. Cette zone couvre la partie moyenne de l'Aptien inférieur.

Dans le domaine méditerranéen, Sliter (1989), Robaszynski & Caron (1995) et Premoli Silva & Sliter (1999) placent la zone à *Blowiella blowi* dans l'intervalle Barrémien supérieur-Aptien inférieur. Au sud-est de la France, Moullade *et al.* (1998) et Masse (2003) incorporent cette zone à la partie supérieure de l'Aptien inférieur. Cette zone comprend : *Blowiella duboisi*, *B. gottisi*, *Praehedbergella sigali*, *P. primare*, *P. aptiana*, *P. infra-*



Fig. 4: Microfaciès de la partie supérieure de l'Aptien inférieur

Photos 1, 2 : 1, Microfaciès à texture wackestone contenant des foraminifères planctoniques à loges et stylolites remplies d'hydrocarbures (FP, St); grains de quartz (Q); 2, Même photographie que (1) en lumière polarisée montrant la richesse en grains de quartz (polarisés) (Ech. 14).

Photos 3, 4 : 3, Microfaciès à texture mudstone contenant des foraminifères planctoniques (FP) à loges remplies d'hydrocarbures (MO); photographie en lumière polarisée montrant également la richesse en grains de quartz détritique (Q); 4, Détail d'un foraminifère planctonique contenant des hydrocarbures (MO) (Ech. 15).

Photo 5 : Photographie montrant une dislocation des lamines provenant d'un milieu situé en amont et glissant dans des milieux plus en aval (phénomène de microslumps 'S') fossilisant le sens de déplacement (ces figures sont différentes des bioturbations) (Ech. 16).

Photos 6, 7 : 6, Détail de la lamine slumpée montrant un matériau grossier constitué par des bioclastes (B), des foraminifères benthiques (FB) et planctoniques (FP), encadré par un matériau fin; 7, détail de la photo précédente montrant les laminations d'hydrocarbures (Lhy).

Photos 8 : Détail d'une lamine slumpée montrant des foraminifères planctoniques (FP), des radiolaires (R), de la matière organique (MO) et du quartz détritique (Ech. 16).

Photos 9, 10 : 9, Faciès à texture wackestone riche en grains de quartz (Q) associés à des foraminifères planctoniques (FP), des radiolaires (R) et des traces d'hydrocarbures (MO), 10, Même photographie en lumière polarisée montrant la richesse en grains de quartz (Ech. 16).

La barre d'échelle représente 50 µm.

Fig. 4: The upper part of the lower Aptian microfacies

Photos 1, 2 : 1, Wackestone with planktonic foraminifera (FP), quartz grains (Q), foraminifera chambers and stylolites are field with hydrocarbons; 2, Same photography with polarized light showing the quartz richness (sample 14).

Photos 3, 4 : 3, Mudstone including planktonic foraminifera (FP) with organic matter in chambers (MO); photography showing the quartz richness, polarized light (Q); 4, Detail of planktonic foraminifera which chambers filled by hydrocarbons (MO) (sample 15).

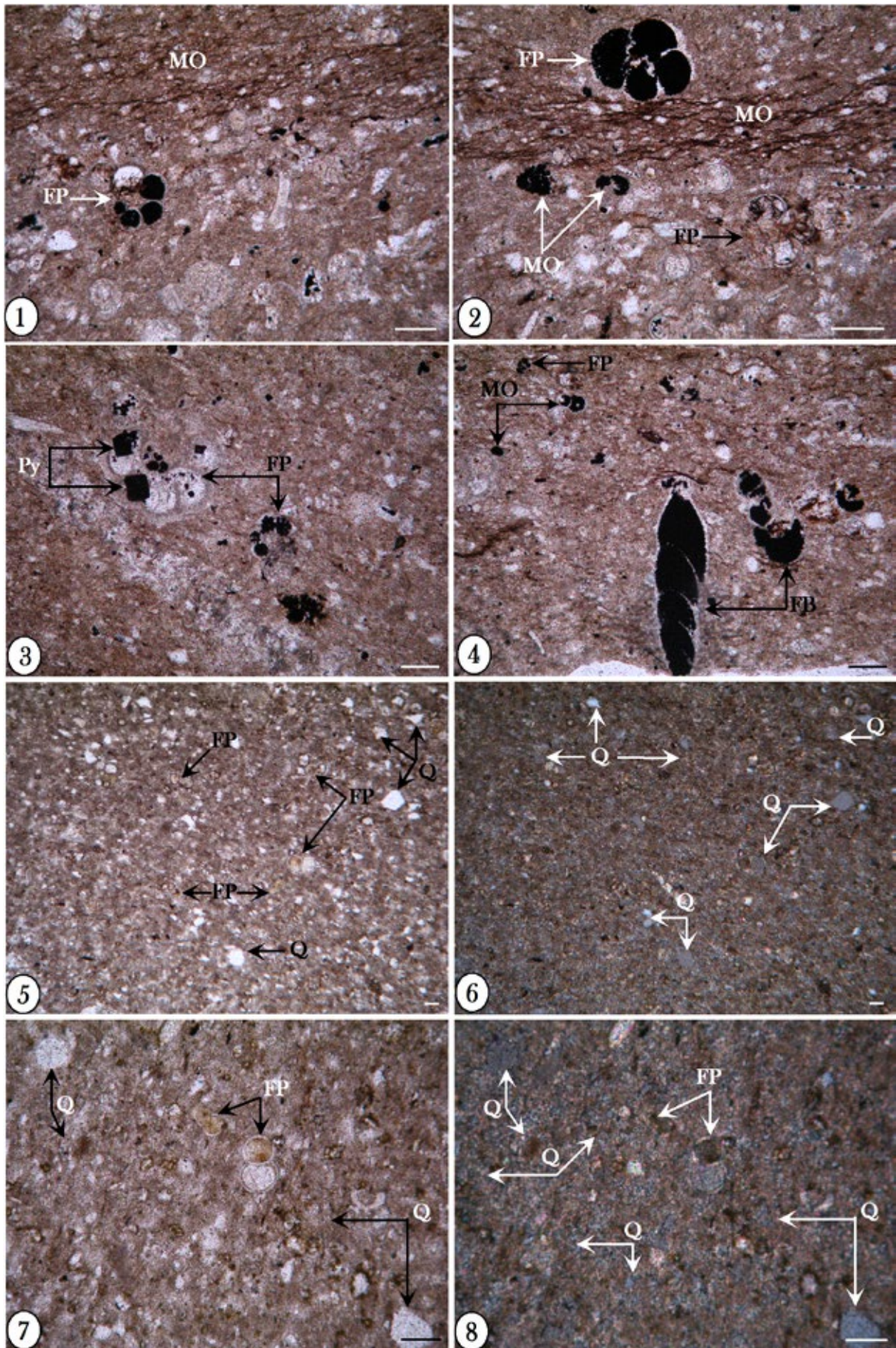
Photo 5 : Photograph showing a dislocated lamina which slipped downstream (microslumps 'S') fossilizing the displacement way (This feature is different from bioturbations) (sample 16).

Photos 6, 7 : 6, Detail of slumped lamina showing coarse material composed of bioclasts (B), benthic and planktonic foraminifera (FB, FP), framed by a fine-grained material; 7, detail of the previous photo showing hydrocarbons laminations (Lhy).

Photo 8 : Detail of slumped lamina showing planktonic foraminifera (FP), radiolarians (R), organic matter (MO) and quartz grains, (sample 16).

Photos 9, 10 : 9, Wackestone rich in quartz grains (Q) with planktonic foraminifera (FP), radiolarians (R) and hydrocarbon traces (MO); 10, Same photography in polarized light showing the quartz richness, (sample 16).

Scale bar represents 50 µm.



cretacea, *P. globulifera*, *P. roblesae*, *Gorbachikella anteroapertura*, *G. grandiapertura* et *G. depressa*.

**Zone à *Leupoldina cabri***: C'est une zone d'extension totale. La limite inférieure est caractérisée par la première apparition du fossile index et la limite supérieure par sa disparition qui coïncide avec la première apparition de l'espèce *Praehedbergella luterbacheri*. Cette zone couvre la partie supérieure de l'Aptien inférieur.

Dans le domaine téthysien, Robaszynski & Caron (1995), Moullade *et al.* (1998, 2002, 2005, 2008, 2010) et Verga & Premoli Silva (2002, 2003a, 2005) placent la première existence de cette espèce au-dessus de la zone à *Blowiella blowi*. Cette zone surmonte donc la zone à *blowi* et caractérise la partie supérieure de l'Aptien inférieur. L'association comprend: *Praehedbergella sigali*, *P. primare*, *P. aptiana*, *P. infracretacea*, *P. globulifera*, *P. roblesae*, *Gorbachikella kugleiri*, *G. anteroapertura*, *G. grandiapertura*, *G. depressa*, *Blowiella duboisi*, *B. gottisi*, *B. blowi* et *Globigerinelloides aptiensis*.

**Zone à *Praehedbergella luterbacheri***: Il s'agit d'une zone d'intervalle dont la base correspond à la première apparition de l'espèce index qui coïncide avec l'extinction de l'espèce *Leupoldina cabri*. La limite supérieure est synchrone avec l'apparition de l'espèce *Globigerinelloides ferreolensis*. Ce marqueur permet le traçage du passage Aptien inférieur-Aptien supérieur. Au sein de cette zone l'association est caractérisée par un assemblage de foraminifères planctoniques dominé par les espèces: *Praehedbergella sigali*, *P. aptiana*, *P. infracretacea*, *P. primare*, *P. globulifera*, *P. roblesae*, *Blowiella gottisi*, *B. duboisi*, *B. blowi* et *Globigerinelloides aptiensis*. Cette zone est également adoptée pour la première fois en Tunisie (Elkhazri *et al.*, 2013).

**Zone à *Globigerinelloides ferreolensis***: Il s'agit

d'une biozone d'intervalle dont la base correspond à la première apparition de cette espèce et la limite supérieure coïncide avec la première apparition de l'espèce *G. algerianus*. Cette zone couvre la partie inférieure de l'Aptien supérieur. L'association englobe *Blowiella duboisi*, *B. gottisi*, *B. blowi*, *Praehedbergella luterbacheri*, *P. primare*, *P. infracretacea* et de rares *P. sigali*.

**Zone à *Globigerinelloides algerianus***: Elle correspond à une zone d'intervalle dont la base coïncide avec la première présence de l'espèce marqueur *G. algerianus* et son sommet avec la première apparition de l'espèce *H. trocoidea*. Cette zone couvre la partie moyenne de l'Aptien supérieur. Elle est caractérisée par la même association que la zone précédente.

**Zone à *Hedbergella trocoidea***: C'est une zone d'intervalle limitée à la base et au sommet respectivement par la première apparition de l'espèce marqueur *Hedbergella trocoidea* et celle de *Planomalina cheniouensis*. Cette zone surmonte la zone à *algerianus* et se situe toujours dans la partie moyenne de l'Aptien supérieur, et comprend les espèces suivantes: *Globigerinelloides ferreolensis*, *G. algerianus*, *G. aptiensis*, *Blowiella duboisi*, *B. gottisi*, *Praehedbergella aptiana* et *P. luterbacheri*.

**Zone à *Planomalina cheniouensis***: Il s'agit d'une zone d'intervalle couvrant partiellement la partie élevée de l'Aptien supérieur. La limite inférieure coïncide avec l'apparition du fossile index et la limite supérieure avec la première occurrence de l'espèce *Ticinella eubejaouensis*. Les foraminifères qui peuvent exister dans cette zone sont essentiellement du genre *Globigerinelloides*: *G. algerianus*, *G. ferreolensis*, *G. barri* et *Hedbergella trocoidea*.

**Zone à *Ticinella eubejaouensis***: Il s'agit d'une zone d'intervalle limitée à la base par la disparition de *Pla-*



Fig. 5: Microfaciès de la partie basale de l'Aptien supérieur

Photos 1, 2: Microfaciès de texture wackestone à foraminifères planctoniques (FP) à cinq loges au dernier tour contenant des hydrocarbures, qui apparaissent aussi sous forme de lamines lenticulaires discontinues visibles dans les parties supérieures des photos (MO) (Ech. 19).

Photos 3, 4: Microfaciès de texture wackestone contenant des foraminifères planctoniques (FP) et benthiques (FB) avec des hydrocarbures (MO) et de la pyrite (Py) dans les loges (Ech. 19).

Photos 5, 6: 5, Microfaciès de texture mudstone contenant des foraminifères planctoniques (FP) avec un important apport quartzueux (Q); 6, Photographie en lumière polarisée montrant la richesse en grains de quartz (Ech. 19).

Photos 7, 8: Détails des photos précédentes montrant l'abondance des foraminifères planctoniques (FP) associée à un apport remarquable de grains de quartz (Q); 8, Photographie en lumière polarisée (Ech. 19).

La barre d'échelle représente 50 µm.

Fig. 5: Lowermost part of the Upper Aptian microfacies

Photos 1, 2: Wackestone including planktonic foraminifera (FP) of five chambers in the last whorl filled by hydrocarbons which occurred also as discontinuous lenticular lamina as it appears within the upper parts of the photographs (MO) (sample 19).

Photos 3, 4: Wackestone including planktonic (FP) and benthic foraminifera filled by hydrocarbons (MO) and pyrite within chambers (Py) (sample 19).

Photos 5, 6: 5, Mudstone facies containing planktonic foraminifera (FP) rich in quartz grains (Q); 6, Photography in polarized light showing the quartz richness (sample 19).

Photos 7, 8: Details from the former photographs showing the abundance of planktonic foraminifera (FP), associated with quartz grains (Q); 8, Photography in polarized light (sample 19).

Scale bar represents 50 µm.

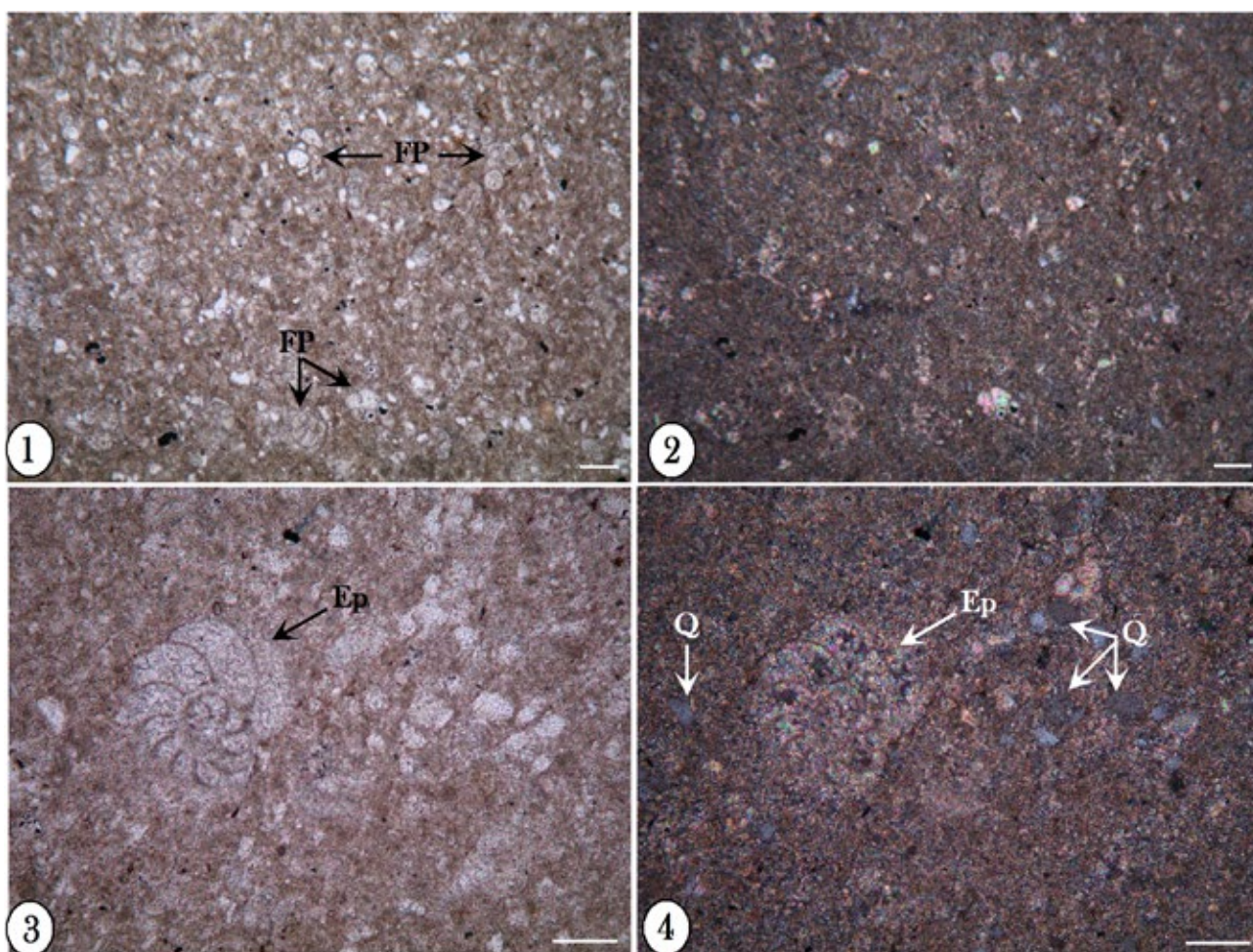


Fig. 6: Microfaciès de la partie basale de l'Aptien supérieur

Photos 1, 2: Microfaciès de texture mud-wackestone contenant des foraminifères planctoniques (FP), de rares foraminifères benthiques (FB) associés à un apport important d'éléments détritiques (grains de quartz) (Q), 2, Photographie en lumière polarisée (Ech. 20).

Photos 3, 4: Détail des photos précédentes montrant une section d'un foraminifère benthique de grande taille appartenant au genre *Epistomina* (Ep) dans un microfaciès riche en grains de quartz (Q), 4, échantillon en lumière polarisée (Ech. 20).

La barre d'échelle représente 50 µm.

Fig. 6: Lowermost part of the Upper Aptian microfacies

Photos 1, 2: Mud-wackestone microfacies containing planktonic foraminifera (FP) and rare benthic forms (FB) with abundant quartz grains (Q), 2, Photography in polarized light (sample 20).

Photos 3, 4: Photographs showing section of big size benthic foraminifera of *Epistomina* genus (Ep) in quartz-rich microfacies (Q), 4, Photography in polarized light (sample 20).

Scale bar represents 50 µm.

*nomalina cheniourensis* et au sommet par l'extension de *Ticinella eubejaouaensis*. Cette zone caractérise également la partie terminale de l'Aptien supérieur.

#### 4. ÉTUDE QUALITATIVE ET QUANTITATIVE DES FORAMINIFÈRES

##### 4.1. Etude qualitative et quantitative

Le Barrémien (Echs 1-6) comprend une microfaune composée essentiellement de foraminifères benthiques

dont le pourcentage oscille entre 50 et 80% de l'ensemble de la microfaune et qui sont représentés par les genres: *Lenticulina*, *Dentalina*, *Gavelinella* associés à des agglutinés (*Ammobaculites*, *Trochammina*) qui ne dépassent pas 2% de l'ensemble des foraminifères (Fig. 7).

L'Aptien inférieur révèle un net enrichissement en foraminifères surtout planctoniques (Echs 8-16). Les échantillons 8 et 9 enregistrent des pourcentages élevés en foraminifères planctoniques et benthiques. A l'échantillon 8, les foraminifères planctoniques ont un pourcentage de 66% dont les formes à loges globuleuses

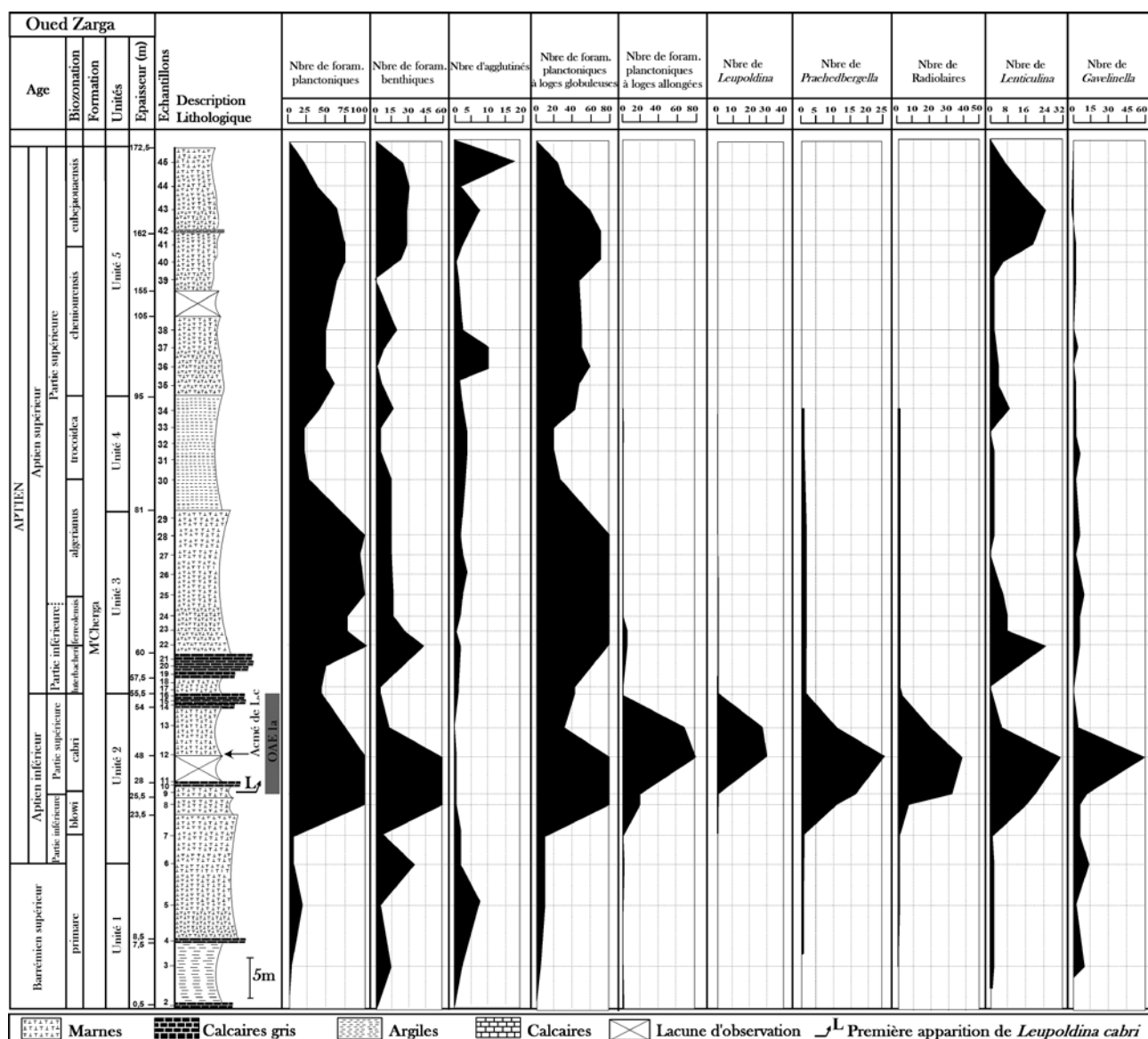


Fig. 7: Analyse quantitative et événements biologiques de l'Aptien à l'Oued Zarga.

Fig. 7: Quantitative analysis and Aptian biological events at Oued Zarga.

prédominant avec 86%, et ceux à loges allongées n'atteignent que 13% de l'ensemble des foraminifères planctoniques. Les foraminifères benthiques représentent 31% de l'ensemble des foraminifères. On note aussi la première apparition des radiolaires (2%) associés à des lenticulines et des gavelinelles.

Egalement, à partir de l'échantillon 9 apparaît la même distribution avec, toutefois, une légère variation en pourcentage. En effet, le nombre des foraminifères planctoniques atteint un pourcentage de 74% réparti en foraminifères à loges globuleuses (9%) et en foraminifères à loges allongées (6%). Les foraminifères benthiques représentent 1%, constitués par des *Gavelinella* sp. et des *Lenticulina* sp. A ce niveau, on note la première apparition de *Leupoldina* (*Schackoina*) avec

un seul individu associé à un premier pic de radiolaires représentant 7% de l'ensemble de la population.

Le premier pic de *Leupoldina* (*Schackoina*) est enregistré au niveau de l'échantillon 12 avec un pourcentage de 10% de l'ensemble des foraminifères planctoniques. On remarque un enrichissement et un rebondissement des différents foraminifères planctoniques avec un pourcentage de 54%, dont 36% à loges globuleuses et 18% à loges allongées. Les benthiques sont de 39%, représentés essentiellement par des *Gavelinella* (36%) et *Lenticulina* (20%) tandis que les radiolaires atteignent un pourcentage de 6,6%.

Dans l'échantillon 13, on note une chute progressive du nombre des foraminifères, ce qui s'accroît dans les échantillons 17 et 18. Les premiers dépôts de l'Aptien

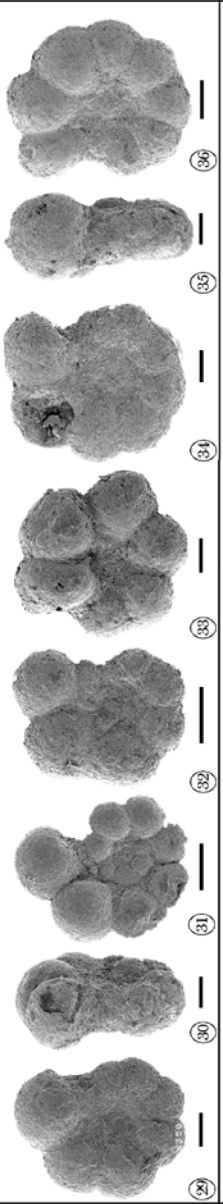
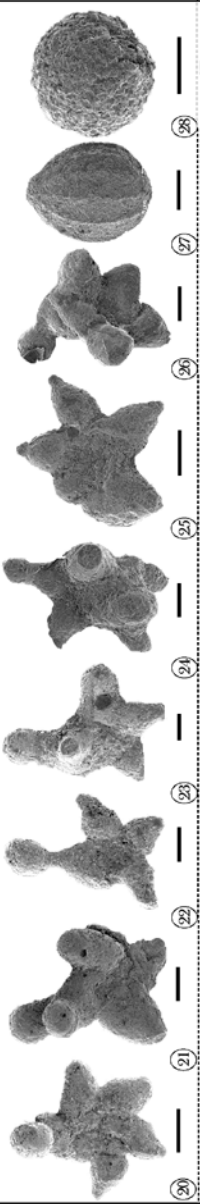
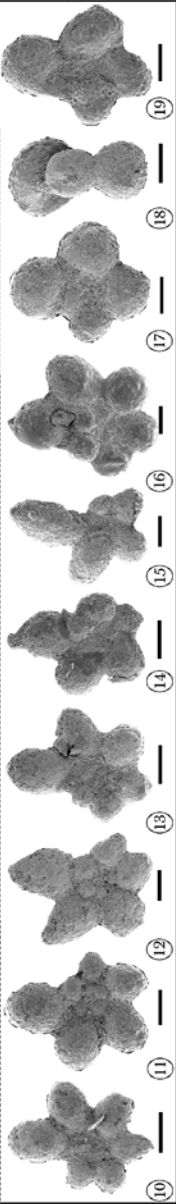
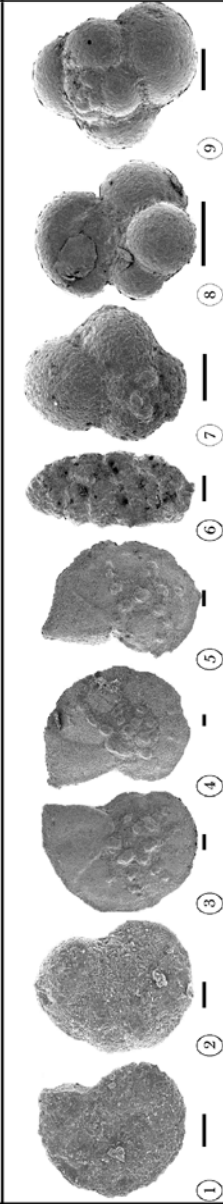
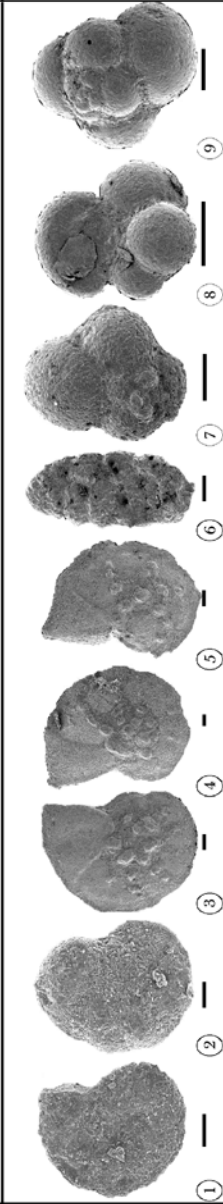
Age	Répartition des foraminifères	Caractérisation des associations fauniques	Milieu de dépôt	Relation milieu/association
Aptien supérieur	Répartition des foraminifères benthiques (10-20 %) associés à une diversification des foraminifères planctoniques (80-100 %) comme les <i>Globigerinelloides</i> .		Le milieu marin devient plus oxygéné et favorable à la diversification des planctons à loges globuleuses.	Augmentation du pourcentage des foraminifères planctoniques à loges globuleuses
Aptien inférieur	Diversification de <i>Leupoldina</i> et <i>Praehedbergella</i> associés à un bloom de radiolaires		Conditions redevenues normales, la tranche d'eau devient oxygénée	Disparition des foraminifères à loges allongées et réapparition de ceux à loges globuleuses.
	Premières radiations des groupes à loges radialement allongés tel que le genre <i>Praehedbergella</i> .		Conditions du milieu de plus en plus dysaérobiques.	Explosion du genre <i>Leupoldina</i> qui multiplie le nombre des loges et acquiert des ampoules à la périphérie
	Association formée de 70-80 % de <i>Gorbachikella</i> et <i>Praehedbergella</i> forams. planctoniques très que <i>Nodosaria</i> , <i>Epistominia</i> et 20 % de <i>Leupoldina</i> , <i>Bentulina</i> , <i>Lagena</i> , forams. benthiques très 4		Milieu marin à tendance à l'anoxie	Apparition des premiers foraminifères à loges allongées ( <i>Praehedbergella</i> )
Barremien supérieur	Association formée de 70-80 % de <i>Gorbachikella</i> et <i>Praehedbergella</i> forams. planctoniques très que <i>Nodosaria</i> , <i>Epistominia</i> et 20 % de <i>Leupoldina</i> , <i>Bentulina</i> , <i>Lagena</i> , forams. benthiques très 4		Milieu marin de faible profondeur caractérisé par des foraminifères planctoniques à loges globuleuses	Foraminifères planctoniques à loges globuleuses qui prédominent

Fig. 8 : Schéma évolutif et expression de la dysoxie sur la distribution des foraminifères planctoniques en Tunisie.

**Barremien supérieur :** 1, 2. *Gavelinella barremiana* (1, 2 Ech. 3). 3. *Ammobaculites* sp. (Ech. 3). 4-6. *Lenticulina eichenbergi* (Ech. 5). 7. *Gorbachikella depressa* (7, Ech. 3). **Aptien inférieur :** 8, 9. *Gorbachikella depressa* (8, 9, Ech. 8). 10, 11. *Praehedbergella globulifera* (Ech. 12). 12-16. *Praehedbergella globulifera-roblesae* (Ech. 12). 17-19. *Blowiella duboisi* (Ech. 12). 20-26. Morphotypes des espèces appartenant au groupe de *Leupoldina* (Ech. 12). 27, 28. Radiolaires (Ech. 12). **Aptien supérieur :** 29-31. *Praehedbergella luterbacheri*, (29, 30, Ech. 18; 31, Ech. 22). 32, 33. *Globigerinelloides aptiensis* (Ech. 22). 34-36. *Globigerinelloides ferreolensis* (34, 35, Ech. 24; 36, Ech. 26). Barre d'échelle 50 µm.

Fig. 8 : Evolutionary scheme and evidence of the dysoxia on the planktonic foraminifera distribution in Tunisia.

**Upper Barremian :** 1, 2. *Gavelinella barremiana* (1, 2 Sample 3). 3. *Ammobaculites* sp. (Sample 3). 4-6. *Lenticulina eichenbergi* (Sample 5). 7-9. *Gorbachikella depressa* (7, Sample 3; 8, 9, Sample 8). **Lower Aptian :** 10, 11. *Praehedbergella globulifera* (Sample 12). 12-16. *Praehedbergella globulifera-roblesae* (Sample 12). 17-19. *Blowiella duboisi* (Sample 12). 20-26. Specimens morphotypes belong to the *Leupoldina* group (Sample 12). 27, 28. Radiolarians (Sample 12). Middle to upper Aptian : 29-31. *Praehedbergella luterbacheri* (29, 30, Sample 18; 31, Sample 22). 32, 33. *Globigerinelloides aptiensis* (Sample 22). 34-36. *Globigerinelloides ferreolensis*, (34, 35, Sample 24; 36, Sample 26). Scale bar represents 50 µm.

supérieur (Echs 17 et 18) enregistrent de faibles pourcentages de foraminifères à loges globuleuses. Le passage à la partie moyenne de l'Aptien supérieur (Echs 22-34) enregistre une diversification et un épanouissement des foraminifères planctoniques qui sont plus abondants que les benthiques, montrant également une diversification aussi bien générique que spécifique. Ils sont composés essentiellement par des foraminifères possédant des loges globuleuses appartenant au genre *Globigerinelloides*. Dans cet intervalle on n'a pas d'événement biologique majeur notable.

L'Aptien élevé révèle une abondance des foraminifères planctoniques à loges globuleuses dont le pourcentage oscille entre 70 et 95% tandis que celui des benthiques ne dépasse pas 30%. Ces derniers sont représentés par de grandes formes appartenant aux genres *Epistomina*, *Lenticulina*, *Gavelinella*, *Dentalina* et *Nodosaria*, associés à des agglutinés qui parfois deviennent des composés essentiels dans la population avec des pourcentages variant entre 5 et 12% du benthos.

Plusieurs associations ont été dégagées par le suivi global de cette remarquable distribution des différents groupes des foraminifères planctoniques et benthiques, et des radiolaires au cours de l'intervalle Barrémo-Aptien en tenant compte de l'évolution de plusieurs paramètres (lithologie, microfaciès, matière organique) (Fig. 8).

#### 4.2. Associations de foraminifères

**Première association (Fig. 8)**: Elle caractérise le Barrémien avec la prédominance de formes à loges globuleuses constituées par: *Gorbachikella kugleiri*, *G. anteroapertura*, *G. depressa*, *G. grandiapertura*, *Praehedbergella sigali*, *P. primare*, *P. aptiana* et micro-hedbergelles. Les benthiques sont représentés par les genres *Lenticulina*, *Dentalina*, *Nodosaria*, *Gavelinella* et sont associés à de rares benthiques à tests agglutinés (*Ammobaculites*, *Trochammina*, *Gaudryinella*).

**Deuxième association (Fig. 8)**: Elle couvre la partie inférieure de l'Aptien inférieur révélant des lithofaciès variés où l'on remarque les premiers foraminifères à loges allongées appartenant au genre *Praehedbergella* (*P. roblesae*, *P. globulifera*) associés à ceux à loges globuleuses représentés par les espèces précédemment décrites auxquelles s'ajoutent le genre *Blowiella*. Les benthiques sont également présents.

**Troisième association (Fig. 8)**: Au niveau de la partie supérieure de l'Aptien inférieur, les foraminifères planctoniques à loges allongées (*Leupoldina*) se multiplient et deviennent abondants. Parallèlement les radiolaires suivent le même schéma que celui des *Leupoldina*.

**Quatrième association (Fig. 8)**: Au cours de l'Aptien supérieur, les foraminifères à loges allongées disparaissent et cèdent leur place à ceux à loges globu-

Tableau 1 : Résultats des analyses Rock Eval des niveaux Barrémo-Aptien d'Oued Zarga.

Table 1: Rock Eval data of Barremo-Aptian deposits.

S<sub>3</sub>: Composés oxygénés (mg de CO<sub>2</sub>/g de roche)

COT: Carbone organique total (% de roche)

IO: Index d'oxygène (mg d'HC/g de COT)

RC (%): Carbone Résiduel

OICO: Index d'oxygène CO=S<sub>3</sub>CO\*100/COT CO: Composés oxygénés

CP: Carbone pyrolysable (%)

Pyro MIN C (%): Carbone minéral mesuré durant la phase de pyrolyse.

Oxi MIN C (%): Carbone minéral mesuré durant la phase d'oxydation.

Min C (%): Carbone minéral total

Age	N° Ech.	S <sub>3</sub>	COT	IO	RC	OICO	CP	Pyro MIN C	Oxi MIN C	Min C
Partie inférieure de l'Aptien supérieur	OZ 21	0,72	0,2	360	0,18	15	0,02	0,43	7,18	7,61
	OZ 20	0,37	0,12	308	0,11	50	0,01	0,35	7,85	8,2
	OZ 19	0,54	0,23	235	0,21	17	0,02	0,36	7,58	7,94
Aptien inférieur	OZ 16	0,36	0,23	157	0,22	13	0,01	0,36	6,66	7,02
	OZ 15	0,3	0,09	333	0,08	44	0,01	0,35	7,11	7,46
	OZ 14	0,78	0,16	488	0,14	19	0,02	0,35	7,96	8,3
	OZ 11	0,28	0,31	90	0,3	13	0,01	0,36	6,53	6,89
Barrémien supérieur	OZ 10	0,29	0,33	88	0,32	18	0,01	0,35	6,63	6,98
	OZ 4	0,67	0,13	515	0,11	69	0,02	0,38	8,34	8,71
	OZ 2	0,62	0,13	477	0,11	46	0,02	0,41	7,15	7,56

leuses qui se diversifient et se multiplient, témoignant d'un retour à un milieu oxygéné généralisé à l'échelle régionale. Les foraminifères benthiques deviennent de grande taille comme les genres : *Lenticulina*, *Dentalina*, *Nodosaria* et *Epistomina*. A l'Aptien supérieur, la présence de la forme carénée *Planomalina cheniourensis* accompagnée par des grandes formes (*Epistomina*) et des foraminifères agglutinés confirment le retour à une oxygénation normale de l'environnement.

## 5. ANALYSE DE LA MATIÈRE ORGANIQUE

### 5.1. Données

L'étude de la matière organique intéresse essentiellement les niveaux carbonatés et les alternances marno-calcaires grises. Les valeurs des différents paramètres mesurés à l'issue des analyses (exp : COT, S<sub>3</sub>, IO) sont représentées dans le Tableau 1.

Les dépôts carbonatés du Barrémien supérieur (Echs 2, 4) ont la même teneur en carbone organique total (0,13 %). L'Aptien inférieur comprend un seul lithofaciès, à savoir des bancs carbonatés en plaquettes grises (Echs 10, 11, 14-16). Ces bancs sont caractérisés par de faibles teneurs en carbone organique variant entre 0,09 et 0,33 % avec une moyenne de 0,22 % (Fig. 9). Les bancs carbonatés de la partie basale de l'Aptien supérieur (Echs 19-21) enregistrent également de faibles teneurs en carbone organique variant entre 0,12 et 0,23 % avec une moyenne de 0,18 %.

Les analyses géochimiques révèlent que les quantités de la matière organique sont faibles, voire très faibles, dans les niveaux carbonatés de l'Aptien inférieur. Ce faible taux de concentration en matière organique ne favorise pas la bonne déduction des paramètres (Tmax, COT, IO, etc.) ainsi qu'une meilleure interprétation des résultats.

### 5.2. Interprétation des résultats de la matière organique

La matière organique associée aux alternances marno-calcaires et aux bancs carbonatés du passage Aptien inférieur-Aptien supérieur à Oued Zarga est caractérisée par de faibles teneurs en COT ne dépassant pas 0,33 %. Ces teneurs peuvent, au plus, indiquer un déficit en oxygène faible à modéré.

Les Tmax ne peuvent pas être estimées avec précision vu les faibles teneurs en matière organique. Toutefois, il est vraisemblable que le stade de maturation (Tmax > 435°C) a été atteint étant donné que des indices de migration d'hydrocarbures sont visibles dans les stylolites, dans les loges de foraminifères et dans certains espaces liés aux déplacements de lamines sédimentaires (Fig. 3 : ph. 7 ; Fig. 4 : phs 1-5 ; Fig. 5 : phs 1-4). Ceci suggère, en effet, un certain manque en oxygène favorable à la

préservation de la matière organique. Ce déficit peut être localisé de part et d'autre de l'interface eau-subs-trat, comme il peut être uniquement localisé au-dessous (condition ultime permettant la préservation de la matière organique). Le manque d'oxygène a pu être localisé au-dessous de l'interface eau-sédiment, permettant ainsi aux grands foraminifères benthiques de se développer (cf. interprétation).

## 6. ÉVÈNEMENT DYSAÉROBIQUE/ANOXIQUE OAE-1A EN TUNISIE

### 6.1. Généralités

D'une manière générale, les niveaux riches en matière organique se caractérisent par les calcaires laminés des Formations M'Cherga (*pro parte*), Allam, Mouelha et Bahloul, des événements OAE-1 et OAE-2. Certains auteurs ont mentionné la présence des dépôts riches en matière organique dans l'Aptien inférieur (Memmi & Maamouri, 1974 ; Salaj & Maamouri, 1978 ; Salaj, 1980 ; Ammar Khayati, 1996). L'OAE-1a est peu connu en Tunisie les premiers travaux sur cet événement, notamment la signature du carbone isotopique, ont été réalisés au Jebel Serj (Centre-nord de la Tunisie) par Heldt *et al.* (2008) et Lehmann *et al.* (2009). Ensuite, Elkhazri *et al.* (2009) ont étudié cet événement en effectuant une analyse quantitative des foraminifères associée à une investigation géochimique des séries des Jebels Messella et Ressay (Tunisie nord-orientale). Elkhazri (2012) et Elkhazri *et al.* (2013) ont étudié également la signature isotopique de l'événement dysaérobie de l'Aptien inférieur (OAE-1a) au Jebel Ammar (Tunisie nord-orientale). Récemment, Barga & Lehman (2014) ont documenté les variations de l'abondance et de la diversité des foraminifères benthiques au sein des 'black shales' de l'Aptien inférieur (OAE-1a) au nord de l'Allemagne. Également, Godet *et al.* (2014) ont étudié l'équivalent de l'OAE-1a dans le secteur de Bir Oum Ali dans la chaîne nord des Chotts.

### 6.2. Événement OAE-1a

Au début de l'Aptien inférieur, sont enregistrées les premières apparitions des foraminifères à loges allongées appartenant au genre *Praehedbergella* alors que les *Praehedbergella* à loges globuleuses apparaissent dès le Barrémien (Figs 10-11). Cet intervalle n'est pas inclus dans l'événement OAE-1a, que ce soit au J. Messella, J. Ressay ou J. Ammar (Elkhazri *et al.*, 2009, 2013 ; Elkhazri, 2012), ce qui est conforme aux travaux d'autres chercheurs dans d'autres contrées (Coccioni & Premoli Silva, 1994 ; Magniez-Jannin, 1998 ; Bellanca *et al.*, 2002 ; Coccioni *et al.*, 2006, 2007). Nous considérons la base de cet événement (Figs 7-9) avec l'apparition des

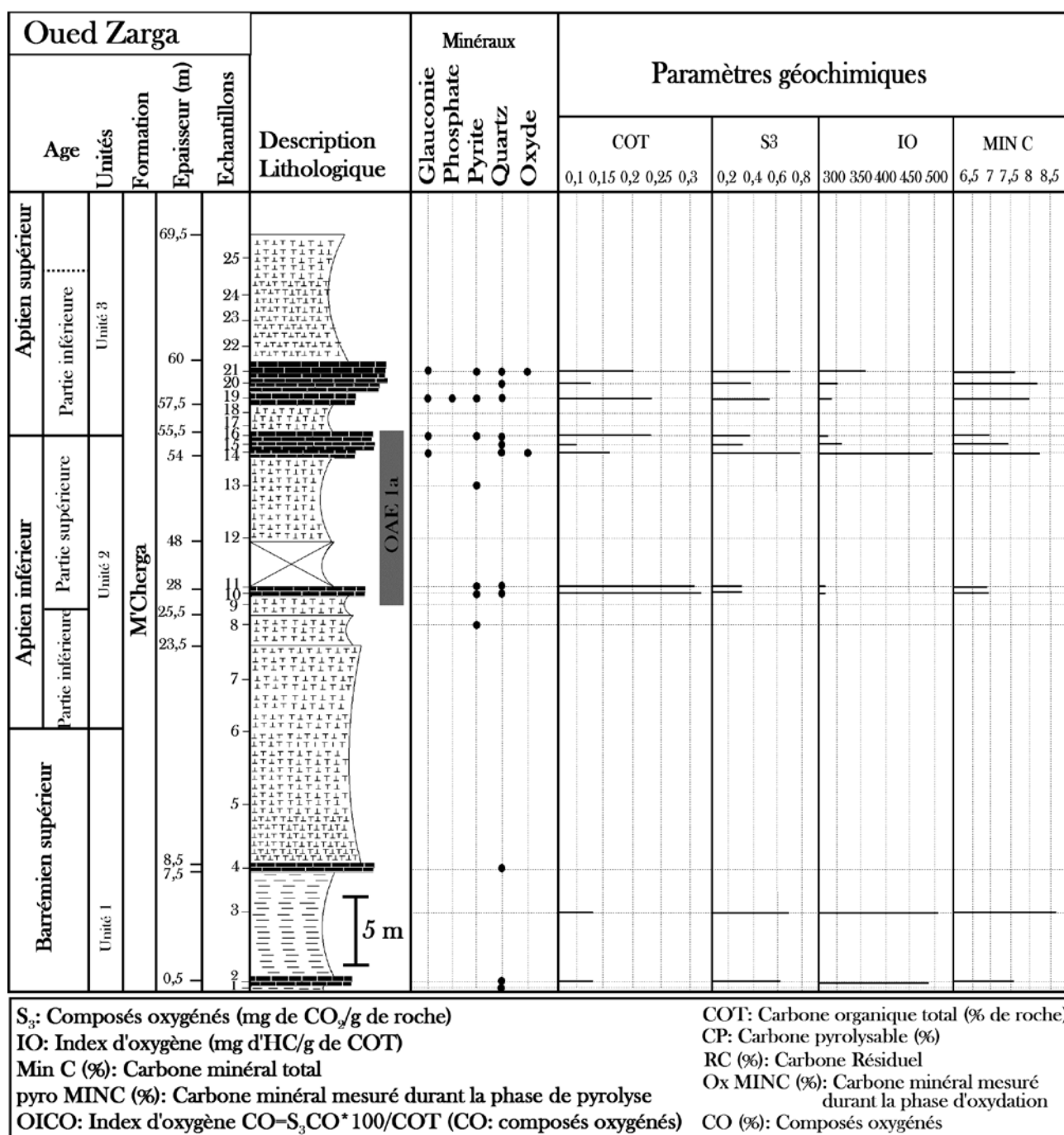


Fig. 9: Etude de la géochimie organique du Barrémo-Aptien d'Oued Zarga.  
 Fig. 9: Organic geochemistry study of the Barremo-Aptian at Oued Zarga.

leupoldines (mêmes références que précédemment, ainsi que Moullade *et al.*, 1998; Lehmann *et al.*, 2009). A partir de l'apparition des leupoldines, on note des changements notables dans les associations qui correspondent à l'événement OAE-Ia. Tout d'abord, l'apparition de ces foraminifères s'effectue dans la partie médiane de l'Aptien inférieur, à partir de l'Echantillon 9 (Fig. 7) et marque ainsi la base, dans notre coupe de l'événement OAE-I. Ce groupe de foraminifères à loges allongées,

avec parfois des palettes munies d'ampoules, se multiplie et devient abondant jusqu'au faciès carbonaté de l'Aptien inférieur terminal (Fig. 12: phs 1-12); le top du faciès carbonaté de l'Aptien inférieur indique le sommet de cet événement. Ainsi l'événement OAE-Ia correspond paléontologiquement au maximum d'extension des leupoldines, et lithologiquement aux calcaires en plaquettes grisâtres pauvres en matière organique (Figs 7, 9).

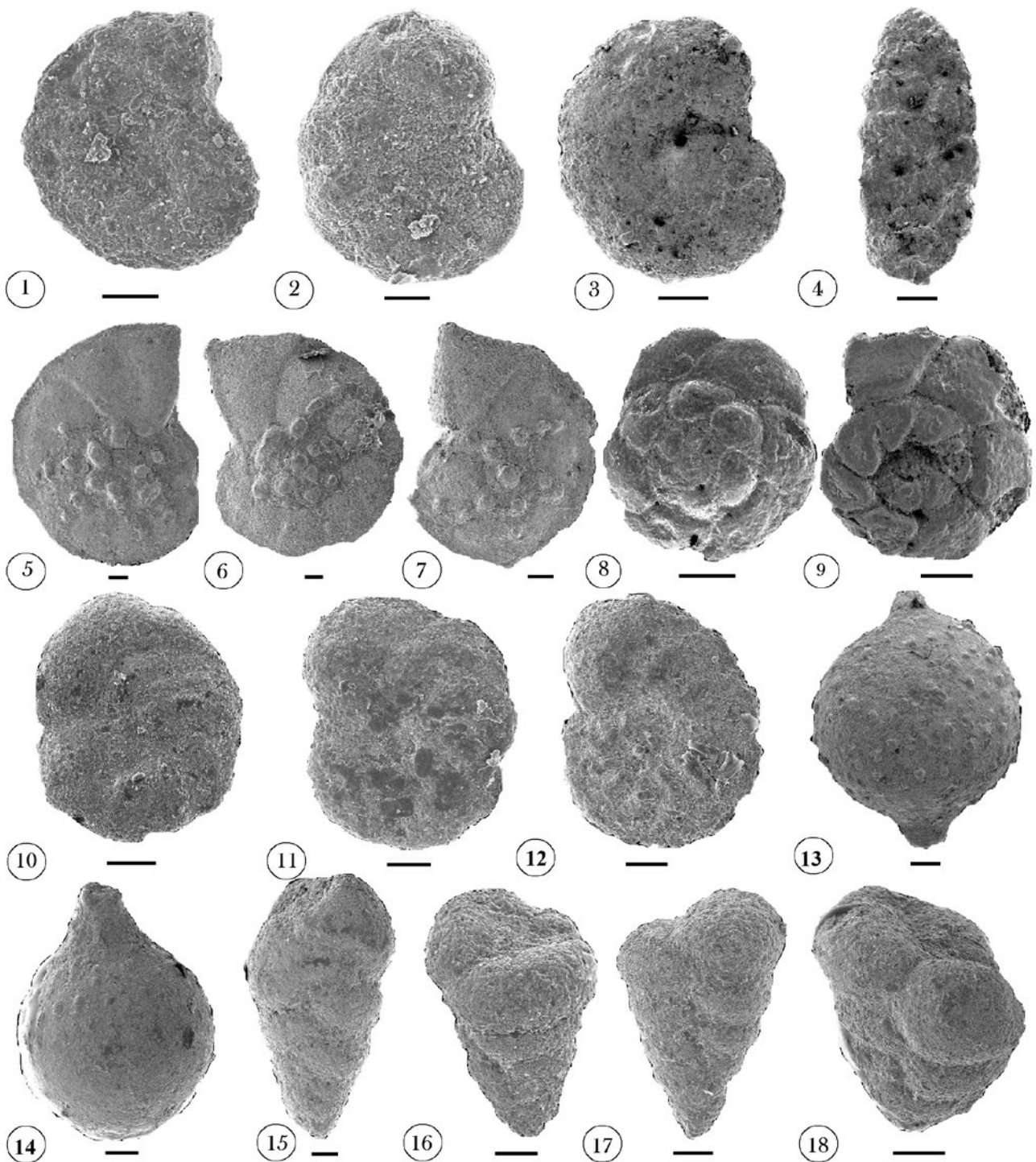


Fig. 10: Les foraminifères benthiques de l'Aptien d'Oued Zarga.

1-3. *Gavelinella barremiana* (1, 2 Ech. 3 ; 3, Ech. 13 ). 4. *Ammobaculite* sp. (Ech. 3). 5-7. *Lenticulina eichenbergi* (Ech. 5). 8, 9. *Epistomina* sp. (Ech. 8). 10-12. *Gavelinella barremiana* (Ech. 13). 13, 14. *Lagena laevis* (Ech. 18). 15-17. *Praedorothia hechti* (Ech. 22). 18. *Praedorothia trochus* (Ech. 22). La barre d'échelle représente 50 µm.

Fig. 10: Aptian benthic foraminifera at Oued Zarga.

1-3. *Gavelinella barremiana* (1, 2 sample 3 ; 3, sample 13). 4. *Ammobaculite* sp. (sample 3). 5-7. *Lenticulina eichenbergi* (sample 5). 8, 9. *Epistomina* sp. (sample 8). 10-12. *Gavelinella barremiana* (sample 13). 13, 14. *Lagena laevis* (sample 18). 15-17. *Praedorothia hechti* (sample 22). 18. *Praedorothia trochus* (sample 22). Scale bar represents 50 µm.

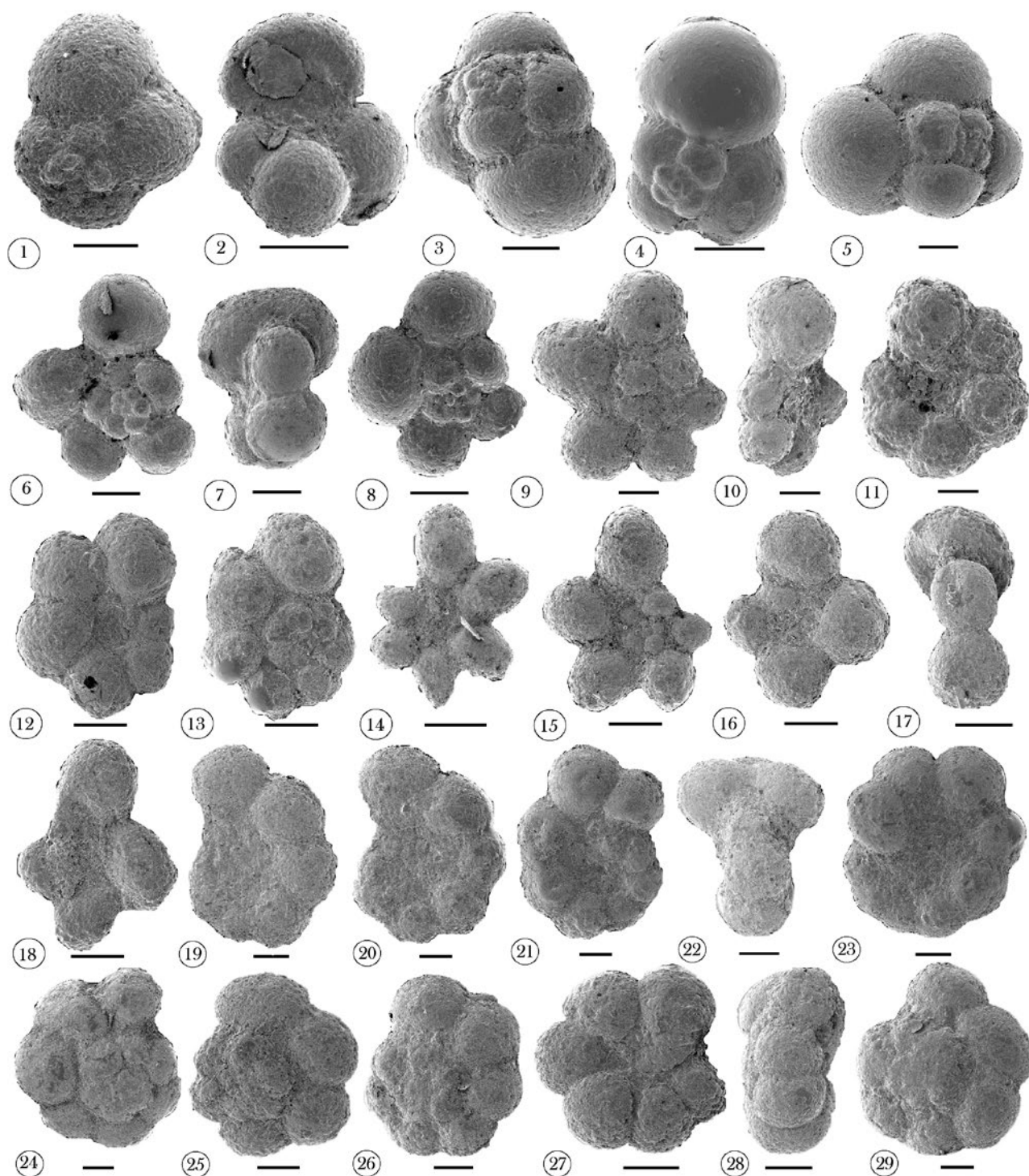
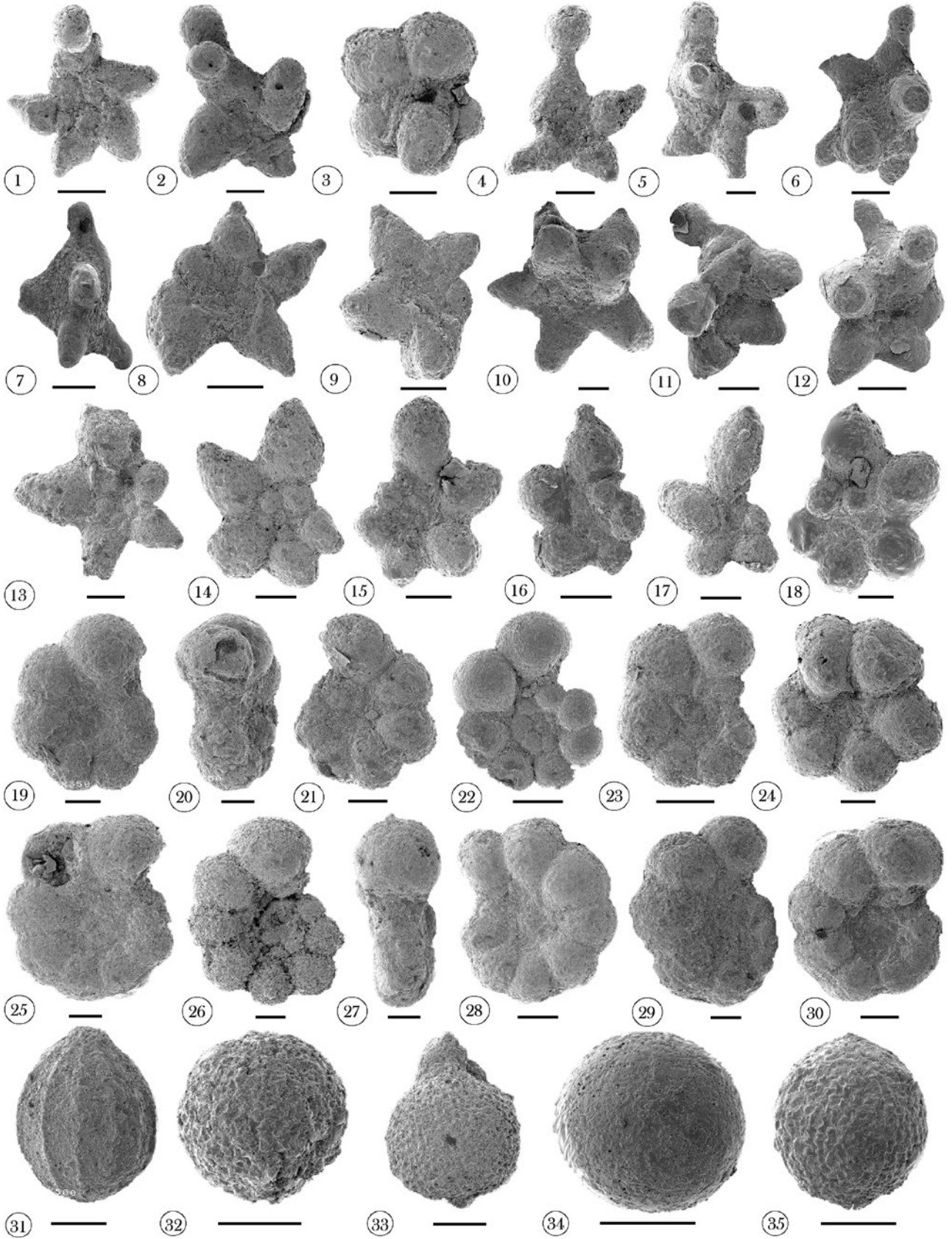


Fig. 11 : Les foraminifères planctoniques de l'Aptien d'Oued Zarga.

**1-5.** *Gorbachikella depressa* (1, Ech. 3 ; 2, 3, Ech. 8 ; 4, 5, Ech. 9). **6-8.** *Praehedbergella aptiana* (Ech. 8). **9-11.** *Praehedbergella primare* (5,5 à 6l) (Ech. 9). **12, 13.** *Praehedbergella primare* (6l) (Ech. 12). **14, 15.** *Praehedbergella globulifera* (Ech. 12). **16-18.** *Blowiella duboisi* (Ech. 12). **19, 20.** Formes transitionnelles entre *P. luterbacheri* et *G. ferreolensis* (Ech. 23). **21-23.** *Globigerinelloides barri* (Ech. 25). **24-29.** *Hedbergella trocoidea* (24-26, Ech. 26 ; 27-29, Ech. 28). La barre d'échelle représente 50 µm.

Fig. 11 : Aptian planctonic foraminifera at Oued Zarga.

**1-5.** *Gorbachikella depressa* (1, sample 3 ; 2, 3, sample 8 ; 4, 5, sample 9). **6-8.** *Praehedbergella aptiana* (sample 8). **9-11.** *Praehedbergella primare* (sample 9). **12, 13.** *Praehedbergella primare* (sample 12). **14, 15.** *Praehedbergella globulifera* (sample 12). **16-18.** *Blowiella duboisi* (sample 12). **19, 20.** Transitional forms between *P. luterbacheri* and *G. ferreolensis* (sample 23). **21-23.** *Globigerinelloides barri* (sample 25). **24-29.** *Hedbergella trocoidea* (24-26, sample 26 ; 27-29, sample 28). Scale bar represents 50 µm.



### 6.3. Interprétation

#### 6.3.1. Paléoenvironnements

L'allongement des loges chez les leupoldines a été interprété comme une réponse adaptative à une déficience en oxygène (e.g., Magniez-Jannin *et al.*, 1997; Magniez-Jannin, 1998; Coccioni *et al.*, 2006, 2007). En effet, Coccioni *et al.* (2006) suggèrent que cette morphologie d'allongement des loges n'apparaît pas de façon aléatoire, mais coïncide avec certaines caractéristiques du milieu telles que les variations des facteurs physico-chimiques, écologiques (oxygène dissout, température, salinité, éléments nutritifs, nature alimentaire, etc.).

De même plusieurs travaux montrent que l'augmentation du rapport surface/volume au niveau des loges des leupoldines, grâce à l'acquisition des ampoules, favorisent et aident à l'augmentation de la consommation d'oxygène et par conséquent permet de mieux résister à la dysoxie du milieu (Bellanca *et al.*, 2002; Coccioni & Premoli Silva, 1994; Coccioni *et al.*, 2006, 2007).

Ce groupe de foraminifères à loges allongées apparaît dans la troisième association de la coupe d'Oued Zarga (Figs 7, 8). Si, *a priori*, on considère à l'Oued Zarga la présence de conditions stressantes du milieu de vie pour expliquer l'apparition des leupoldines, ces conditions semblent s'opposer à certaines caractéristiques environnementales. En effet, les espèces benthiques (épistomines, lenticulines, gavelinelles, etc.) n'étaient pas absentes de ce milieu aux côtés des leupoldines. Ainsi, le manque d'oxygène ne peut être trop important et l'oxygénation serait presque normale pour permettre, entre autres conditions vitales, aux formes benthiques d'être à la fois diversifiées et de grande taille. Toutefois, d'après les résultats fournis par l'étude de la matière organique, aussi faible soit-elle, ce manque d'oxygène est avéré eu égard à la présence de lamines sombres résultant de la migration presque *in situ* d'hydrocarbures (voir les lamines sur les photos 7 et 8 de la Figure 3 et sur la photo 1 de la Figure 4 où les hydrocarbures sont associés, dans la dernière photo, à des stylolites.) En conséquence, il est clair, dans ces conditions, que la dysaérobie a été uniquement localisée au-dessous de l'interface eau/sé-

diment ce qui est alors, d'une part, sans incidence sur la prolifération de la communauté benthique, et d'autre part, favorise la préservation, au moins en partie, de la matière organique.

#### 6.3.2. Origine géographique des leupoldines

La présence significative des foraminifères benthiques, qui sont de surcroît de grande taille, ne peut être compatible avec un certain manque d'oxygène! Nous pensons que ces foraminifères avaient effectivement vécu dans ce milieu qui était le plus souvent bien oxygéné, adossé à un milieu à oxygénation normale pourvoyeur d'un imposant apport en quartz détritique.

Ainsi, nous pensons que les leupoldines ne sont pas présents dans le site d'Oued Zarga en raison de l'absence d'anoxie, mais apparaissent latéralement et auraient été introduites ultérieurement pour être fossilisés dans ce site. En effet, ces foraminifères sont connus dans des structures proches, mais où la dysaérobie a été clairement exprimée, comme au J. Ammar où le manque d'oxygène est bien exprimé, avec un taux de COT allant jusqu'à 4,5% (Elkhazri *et al.*, 2013), alors qu'au J. Ressay les teneurs en COT atteignent jusqu'à 1,9% (Elkhazri *et al.*, 2009; Elkhazri, 2012). Dans ces sites, les foraminifères benthiques sont également présents, mais à l'inverse de ceux d'Oued Zarga (COT < 0,5%), ils sont de petites tailles. Donc, les leupoldines se seraient développés dans ces environnements déficients en oxygène et ce n'est que par dérive que les deux communautés (benthique et leupoldines) se trouvent associées dans une tranche d'eau à taux d'oxygénation tolérable sur toute sa hauteur.

#### 6.3.3. Diachronisme de l'événement OAE-1a en Tunisie nord-orientale

Il est aussi intéressant de remarquer que l'événement OAE-1a serait diachrone en Tunisie nord-orientale. En effet, à Oued Zarga, l'apparition de *L. cabri* se fait 1 m avant l'événement OAE-1a (Fig. 9). Toutefois, il est connu que les foraminifères à loges allongées appa-



Fig. 12: Les foraminifères planctoniques et radiolaires de l'Aptien d'Oued Zarga.

**1-13.** Morphotypes d'espèces appartenant au groupe de *Leupoldina* (Ech. 12). **14-18.** *Praehedbergella globulifera-roblesae* (Ech. 12). **19-22.** *Praehedbergella luterbacheri* (19-21, Ech. 18; 22, Ech. 22). **23, 24.** *Globigerinelloides aptiensis* (Ech. 22). **25-30.** *Globigerinelloides ferreolensis* (25-27, Ech. 24; 28-30, Ech. 26). **31-35.** Différentes formes des Radiolaires (32, 34, 35: formes sphériques à surface lisse ou rugueuse, 31, 33: formes allongées) (31, 32, Ech. 12; 33-35, Ech. 13). La barre d'échelle représente 50 µm.

Fig. 12: Aptian planktonic foraminifera and radiolarians at Oued Zarga.

**1-13.** Species morphotypes belonging to the *Leupoldina* group (sample 12). **14-18.** *Praehedbergella globulifera-roblesae* (sample 12). **19-22.** *Praehedbergella luterbacheri* (19-21, sample 18; 22, sample 22). **23, 24.** *Globigerinelloides aptiensis* (sample 22). **25-30.** *Globigerinelloides ferreolensis* (25-27, sample 24; 28-30, sample 26). **31-35.** Radiolarians different forms (32, 34, 35: spherical forms with smooth or rough, 31, 33: elongated forms) (31, 32, sample 12; 33-35, sample 13). Scale bar represents 50 µm.

raissent, d'une manière générale, juste après ou simultanément aux OAEs, mais pas avant, et peuvent disparaître juste après (e.g., Li *et al.*, 2008; Kuhnt *et al.*, 2011; Elkhazri *et al.*, 2013). En comparant nos données avec les résultats au J. Ammar, situé à environ 70-80 km à l'est d'Oued Zarga, au nord de Tunis (Elkhazri, 2012; Elkhazri *et al.*, 2013, fig. 5), cet événement débute avec le passage des segments C3-C4 de la courbe isotopique. Ce passage se situe à l'échantillon 41a, soit environ 7 m au-dessous de la première apparition de *Leupoldina cabri*. Ainsi l'événement OAE-1a débute tôt au J. Ammar par rapport à Oued Zarga. L'installation de ce dernier événement, un peu plus tard à Oued Zarga, serait imputable au fait que l'emplacement de ce dernier site serait excentré par rapport au bassin et se localise plus près de la plate-forme. Ainsi, au moment de l'apparition de *Leupoldina cabri* dans un milieu relativement oxique à Oued Zarga, la dysaérobie s'était développée bien avant en milieu de bassin au J. Ammar. Ceci conforte notre hypothèse émise plus haut concernant l'origine des leupoldines qui correspondait à d'autres secteurs limitrophes, sièges de la dysaérobie (e.g. J. Ammar, J. Ressay), et à partir desquels ces foraminifères avaient dérivé.

Toutefois, Heldt *et al.* (2008, fig. 3) signalent au J. Serj, en Tunisie nord-centrale, l'apparition des leupoldines dès la base de l'événement OAE-1a; mais ce qui apparaît surprenant est l'extension verticale de l'espèce *Leupoldina cabri* qui s'étale sur 175 m de dépôts (intervalle 60-235 m) alors qu'elle devait se limiter à l'Aptien inférieur et à peu près à l'OAE-1a; en plus ces auteurs, dans leur figure 3, font ressortir le segment C7 de la courbe isotopique en dehors de la zone biologique cabri, ce qui apparaît en contradiction avec, par exemple, les travaux de Li *et al.* (2008), Kuhnt *et al.* (2011) et Elkhazri *et al.* (2013).

## 7. CONCLUSION

Ce travail est basé sur une étude micropaléontologique détaillée de l'intervalle Barrémien-Aptien couplée à une analyse quantitative des assemblages de foraminifères planctoniques, benthiques et des radiolaires ainsi qu'à une étude géochimique de la matière organique.

1. Le Barrémien comprend des alternances argilo-marneuses à rares récurrences carbonatées. Au cours de l'Aptien inférieur, la fraction carbonatée augmente au détriment des marnes. Cet intervalle se caractérise par des carbonates gris à matière organique réduite. L'Aptien supérieur est exprimé par une sédimentation marno-argileuse à rares bancs calcaires.

2. Dans l'intervalle Barrémien-Aptien inférieur, trois zones, basées sur les foraminifères planctoniques, sont mises en évidence: zone à *Praehedbergella primare*, zone à *Blowiella blowi* (zones d'intervalles) et zone à *cabri* (zone d'extension totale). Au niveau de l'Aptien supérieur six zones d'intervalles ont été identifiées. La zone à *cabri* correspond à l'«OAE-1a».

3. L'étude quantitative retrace la répartition temporelle

des foraminifères planctoniques ainsi que leur relation avec les niveaux à matière organique équivalents aux «Black shales» de l'Aptien inférieur. Le nombre élevé des leupoldines par rapport aux autres espèces planctoniques serait lié à l'anoxie qui aurait stimulé les radiations des foraminifères provoquant l'allongement des loges. Bien que les conditions stressantes ne fussent pas réunies dans le secteur étudié, elles devaient avoir lieu dans les secteurs limitrophes, comme au J. Ammar où les teneurs de COT peuvent atteindre 4,5%. C'est à partir de ces secteurs que ces foraminifères ont atteint Oued Zarga; donc, en fin de compte, ces foraminifères viennent dans ce secteur juste pour mourir et être fossilisé et non pour se multiplier.

Cette radiation appuie l'hypothèse des conditions d'eutrophisation qui peuvent être couplées à d'autres facteurs environnementaux; comme le suggère plusieurs auteurs (Coccioni & Premoli Silva, 1994; Magniez-Jannin, 1998; Bellanca *et al.*, 2002; Coccioni *et al.*, 2006, 2007) l'allongement des loges apparaît donc comme une réponse adaptative à la déficience en oxygène.

4. La distribution des foraminifères au sein et de part et d'autre de l'événement «OAE-1a» aboutit aux conclusions suivantes (en tenant compte des conditions dysaérobiques situées latéralement à notre secteur): avant l'événement OAE-1a (Barrémien), l'association est prédominée par des formes à loges globuleuses (*Praehedbergella*) associées à des benthiques y compris des agglutinés en relation avec une oxygénation normale du milieu. Ensuite, au cours de l'événement OAE-1a (Aptien inférieur), l'association devient prédominée par les foraminifères à loges allongées de type *Leupoldina*; ceci traduit l'étroite relation entre les radiations des foraminifères planctoniques à loges radialement allongées et les conditions dysaérobiques du milieu connues dans d'autres affleurements proches du site étudié (Magniez-Jannin, 1998; Coccioni *et al.*, 2006, 2007). Enfin, après l'événement OAE-1a, l'Aptien supérieur enregistre la réapparition des foraminifères à loges globuleuses (Globigerinelloides).

5. L'abondance des radiolaires (sous-événement) au sein de l'événement OAE-1a est remarquable à Oued Zarga, comme dans d'autres localités téthysiennes et mise en évidence par plusieurs auteurs (Erba *et al.*, 1999; Erba, 2004; Premoli Silva & Sliter, 1999; Danelian *et al.*, 2002; Marsaglia, 2005).

6. L'intensité de l'anoxicité paraît faible, ce qui se traduit par des taux en COT très faibles et des foraminifères benthiques florissants et de grande taille, en plus de la communauté planctonique. Ce constat prouve que le secteur Oued Zarga occupe, à l'Aptien inférieur, une position intermédiaire entre, d'une part, la plate-forme carbonatée qui est développée plus au sud du secteur étudié, et d'autre part, le bassin qui englobe les secteurs limitrophes tels que J. Ammar, J. Oust et J. Messella (Elkhazri, 2012). En fait, à Oued Zarga, la dysaérobie se situe uniquement au-dessous de l'interface eau-sédi-

ment permettant la fossilisation d'une faible quantité de matière organique qui avait atteint le stade de maturation et avait migré, presque *in situ*, au sein de stylolites ou de fines lamines.

7. L'événement OAE-1a paraît diachrone à travers la Tunisie nord-orientale; en effet, la dysaérobie apparaît, au J. Ammar, 7 m au-dessous de l'apparition des leupoldines; alors qu'à Oued Zarga ce manque d'oxygène apparaît presque en même temps que les leupoldines. Ce diachronisme est imputé à la position excentrique du secteur Oued Zarga par rapport au bassin qui se développe plus à l'est. L'emplacement d'Oued Zarga se trouvait, à cette époque, sous l'influence de la plate-forme envoyant surtout du détritique quartzeux.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions Lionel Cavin du Muséum d'Histoire naturelle de Genève pour son aide ainsi que Karl Föllmi de l'Université de Lausanne pour les critiques et les commentaires constructifs ayant contribué à l'amélioration substantielle du manuscrit.

## RÉFÉRENCES

- Abbassi S. 2008. Petroleum potential assessment of the Barremian-Aptian black shales in the Goraa-Hammam Biadha basin "Triassic Dome Zone". Diplôme de Mastère, Faculté des Sciences de Tunis, 113 pp. [inédit].
- Aguado R., Castro J.M., Company M. & de Gea G.A. 1999. Aptian bio-events: an integrated biostratigraphic analysis of the Almadich Formation, Inner Prebetic Domain, SE Spain. *Cretaceous Research*, 20: 663-683.
- Ammar Khayati H. 1996. Stratigraphie et micropaléontologie des massifs Serj et Bargou (Tunisie du centre nord). Diplôme d'Etudes Approfondies, Faculté des Sciences de Tunis, 143 pp. [inédit].
- Arthur M.A. & Schlanger S.O. 1979. Cretaceous 'oceanic anoxic events' as causal factors in development of reef-reservoired giant oil fields. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*, 63: 870-885.
- Bartenstein H. & Brand E. 1951. Mikropaläontologische Untersuchungen zur Stratigraphie des nordwestdeutschen Valendis. *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft*, Stuttgart, 485: 239-336.
- Bargen D.V. & Lehmann J. 2014. Benthic ecosystem response to the deposition of lower Aptian black shales in an epicontinental sea. *Cretaceous Research*, 51: 208-224.
- Bellanca A., Erba E., Neri R., Premoli Silva I., Sprovieri M., Tremolada F. & Verga D. 2002. Palaeoceanographic significance of the Tethyan 'Livello Selli' from the Hybla Formation, northwestern Sicily: biostratigraphy and high-resolution chemostratigraphic records. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 185: 175-196.
- Bellier J.P. & Moullade M. 2002. Lower Cretaceous planktonic foraminiferal biostratigraphy of the western north Atlantic (ODP LEG 171B), and taxonomic clarification of key index species. *Revue de Micropaléontologie*, 45: 9-26.
- Bralower T.J., Cobabe E., Clement B., Sliter W.V., Osburn C.L. & Longoria J. 1999. The record of global change in mid-Cretaceous (Barremian-Albian) sections from the Sierra Madre, northeastern Mexico. *Journal of Foraminiferal Research*, 29: 418-437.
- Chida-Ben Haj Ali N. 2005. Les foraminifères planctoniques du Crétacé (Hauterivien à Turonien inférieur) de Tunisie: systématique, biozonation et précisions stratigraphiques. Thèse, Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences de Tunis, 348 pp. [inédit].
- Cobianchi M., Luciani V. & Bosellini A. 1997. Early Cretaceous nannofossils and planktonic foraminifera from northern Gargano (Apulia, southern Italy). *Cretaceous Research*, 18: 249-293.
- Cobianchi M., Luciani V. & Menegatti A. 1999. The Selli Level of the Gargano Promontory, Apulia, southern Italy: foraminiferal and calcareous nannofossil data. *Cretaceous Research*, 20: 255-269.
- Coccioni R. & Premoli Silva I. 1994. Planktonic Foraminifera from the Lower Cretaceous of Rio Argos sections (southern Spain) and biostratigraphic implications. *Cretaceous Research*, 15: 645-687.
- Coccioni R., Erba E. & Premoli Silva I. 1992. Barremian-Aptian calcareous plankton biostratigraphy from the Gorgo a Cerbara section (Marche, central Italy) and implications for plankton evolution. *Cretaceous Research*, 13: 517-537.
- Coccioni R., Luciani V. & Marsili A. 2006. Cretaceous oceanic anoxic events and radially elongated chambered planktonic foraminifera: Paleocological and paleoceanographic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 235: 66-92.
- Coccioni R., Premoli Silva I., Marsili A. & Verga D. 2007. First radiation of Cretaceous planktonic foraminifera with radially elongate chambers at Angles (Southeastern France) and biostratigraphic implications. *Revue de Micropaléontologie*, 50: 215-224.
- Crumière J.P. & Espitalié J. 1989. Caractérisation des types de dépôts organiques par analyse de la forme du pic S2 de pyrolyse Rock Eval. Comparaison avec des analyses optiques. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Série Ila*, 309: 1413-1417.
- Danelian T., Baudin F., Gardin S., Beltran C. & Masure E. 2002. Early Aptian productivity increase as recorded in the Fourcade level of the Ionian zone of Greece. *Comptes Rendus des Géosciences*, 334: 1087-1093.
- Danelian T., Baudin F., Gardin S., Masure E., Ricordel C., Fili I., Meçaj T. & Muska K. 2007. The record of mid Cretaceous oceanic anoxic events from the Ionian zone of southern Albania. *Revue de Micropaléontologie*, 50 (3): 225-237.
- de Gea G.A., Castro J.M., Aguado R., Ruiz-Ortiz P.A. & Company M. 2003. Lower Aptian carbon isotope stratigraphy from a distal carbonate shelf setting: the Cau section, Prebetic zone, SE Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 200: 207-219.
- de Gea G.A., Roque A., Castro J. M., Ruiz-Ortiz P.A. & Pedro A.R. 2008. Lower Aptian Subbetic organic-rich facies, radiolarites, and associated deposits: the local expression of Oceanic Anoxic event 1a (Carbonero Formation, southern Spain). *Cretaceous Research*, 29: 861-870.
- Dumitrescu M. & Brassell S.C. 2006. Compositional and

- isotopic characteristics of organic matter for the early Aptian oceanic anoxic event at Shatsky Rise, ODP Leg 198. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 235: 168-191.
- Elkhazri A. 2012. Etude biostratigraphique et signature géochimique du Barrémo-Aptien en Tunisie centro-septentrionale. Thèse, Doctorat, Faculté des Sciences de Tunis, 248 pp. [inédit].
- Elkhazri A., Razgallah S., Abdallah H. & Ben Haj Ali N. 2009. L'événement anoxique «OAE 1a» Barrémo-Aptien en Tunisie nord-orientale: Intérêt des foraminifères. *Revue de Paléobiologie*, 28 (1): 93-130.
- Elkhazri A., Abdallah H., Razgallah S., Moullade M. & Kuhnt W. 2013. Carbon-isotope and microfaunal stratigraphy bounding the Lower Aptian Oceanic Anoxic Subevent 1a in northeastern Tunisia. *Cretaceous Research*, 39: 133-148.
- Erba E. 2004. Calcareous nannofossils and Mesozoic anoxic events. *Marine Micropaleontology*, 52: 85-106.
- Erba E., Channell J.E.T., Claps M., Jones C., Larson R., Opdyke B., Premoli Silva I., Riva A., Salvini G. & Torricelli S. 1999. Integrated stratigraphy of the Cismon Apticore (Southern Alps, Italy): a "reference section" for the Barremian-Aptian Interval at low latitudes. *Journal of Foraminiferal Research*, 29: 371-391.
- Espitalié J., Laporte J.-L., Modéc M., Marquis F., Leplat P., Paulet J. & Boutefeu A. 1977. Méthode rapide de caractérisation des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, 32 (1): 23-45.
- Föllmi K.B. 2012. Early Cretaceous life, climate and anoxia. *Cretaceous Research*, 35: 230-257.
- Föllmi K.B., Godet A., Bodin S. & Linder P. 2006. Interactions between environmental change and shallow water carbonate buildup along the northern Tethyan margin and their impact on the Early Cretaceous carbon isotope record. *Paleoceanography*, 21: 1-16.
- Godet A., Bodin S., Föllmi K.B., Vermeulen J., Gardin S., Fiet T., Adatte T., Berner Z., Stüben D. & van de Schootbrugge B. 2006. Evolution of the marine stable carbon-isotope record during the early Cretaceous: a focus on the late Hauterivian and Barremian in the Tethyan realm. *Earth and Planetary Science Letters*, 242: 254-271.
- Godet A., Hfaïedh R., Arnaud-Vanneau A., Zghal I., Arnaud H. & Ouali J. 2014. Aptian palaeoclimates and identification of an OAE1a equivalent in shallow marine environments of the southern Tethyan margin: Evidence from Southern Tunisia (Bir Oum Ali section, Northern Chott Chain). *Cretaceous Research*, 48: 110-129.
- Heldt M., Bachmann M. & Lehmann J. 2008. Microfacies, biostratigraphy, and geochemistry of the hemipelagic Barremian-Aptian in north central Tunisia: Influence of the OAE 1a on the southern Tethys margin. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 261: 246-260.
- Jenkyns H.C. 1980. Cretaceous anoxic events: from continents to oceans. *Journal of the Geological Society*, London, 137: 171-188.
- Kuhnt W., Moullade M., Masse J.P., Erlenkeuser H. 1998. Carbon isotope stratigraphy of the lower Aptian historical stratotype at Cassis-La Bédoule (SE France). *Géologie Méditerranéenne*, 25: 63-79.
- Kuhnt W., Holbourn A. & Moullade M. 2011. Transient global cooling at the onset of early Aptian oceanic anoxic event (OAE) 1a. *Geology*, 39 (4): 323-326.
- Leckie R.M. 2002. Oceanic anoxic events and plankton evolution: biotic response to tectonic forcing during the mid-Cretaceous. *Paleoceanography*, 17: 1-29.
- Lehmann J., Heldt M., Bachmann M. & Negra M.E.H. 2009. Aptian (Lower Cretaceous) biostratigraphy and cephalopods from north central Tunisia. *Cretaceous Research*, 30: 895-910.
- Li Y.-X., Bralower T.J., Montañez I.P., Osleger D.A., Arthur M.A., Bice D.M., Herbert T.D., Erba E. & Premoli Silva I. 2008. Toward an orbital chronology for the early Aptian Oceanic Anoxic Event 1a (OAE 1a, ~ 120 Ma). *Earth and Planetary Science Letters*, 271: 88-100.
- Loeblich A.R. Jr & Tappan H. 1964. Protista 2. Sarcodina chiefly Thecamoebians and Foraminifera. In: Moore R.C. (Ed.). *Treatise of Invertebrate Paleontology, part C*. 2 volumes, 900 pp. University of Kansas Press, Lawrence.
- Loeblich A.R. Jr & Tappan H. 1984. Suprageneric classification of the Foraminifera (Protozoa). *Micropaleontology*, 30: 1-70.
- Longoria J.F. 1974. Stratigraphic, morphologic and taxonomic studies of Aptian planktonic Foraminifera. *Revista Espanola de Micropaleontologia, Numero Extraordinario*, 107 pp.
- Luciani V., Cobianchi M. & Lupi C. 2006. Regional record of a global oceanic anoxic event: OAE 1a on the Apulia platform margin, Gargano Promontory, southern Italy. *Cretaceous Research*, 27: 754-772.
- Magniez-Jannin F. 1998. L'élongation des loges chez les foraminifères planctoniques du Crétacé inférieur: une adaptation à la sous-oxygénation des eaux? *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Sciences de la Terre et des Planètes*, 326: 207-213.
- Magniez-Jannin F., Breheret J.G. & Delanoy G. 1997. Un exemple de spéciation lié à l'eustatisme: l'apparition précoce de *Schackoina cabri* (foraminifère planctonique mésogéen). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Sciences de la Terre et des Planètes*, Paris, 325: 225-230.
- Marsaglia K.M. 2005. Sedimentology, petrology, and volcanology of the Lower Aptian Anoxic Event (OAE 1a), Shatsky Rise, north-central Pacific Ocean. *Proceedings ODP, Sciences Results*, 198: 1-31.
- Masse J.P. 2003. Integrated stratigraphy of the lower Aptian and applications to carbonate platforms: a state of the art. In: Gili E. et al. (Eds), *North African Cretaceous Carbonate Systems, NATO Science Series, IV. Earth and Environmental Sciences*, 28: 203-214.
- Memmi L. & Maamouri A.L. 1974. Crétacé inférieur du Djebel Oust. *VI Colloque Africain de Micropaléontologie, Livret-Guide des Excursions*, 31-39.
- Menegatti A.P., Weissert H., Brown R.S., Tyson R.V., Farrimond P., Strasser A. & Caron M. 1998. High resolution  $\delta^{13}\text{C}$  stratigraphy through the early Aptian "Livello Selli" of the Alpine Tethys. *Paleoceanography*, 13 (5): 530-545.
- Moullade M. 1966. Etude stratigraphique et micropaléontologique du Crétacé inférieur de la 'Fosse Vocontienne'. *Documents du Laboratoire de Géologie, Faculté des Sciences, Lyon*, 15: 369 pp.
- Moullade M. 1974. Zones des foraminifères du Crétacé inférieur mésogéen. *Comptes Rendus Hebdomadaires des*

- Séances de l'Académie des Sciences, Paris (Série D)*, 278: 1813-1816.
- Moullade M. & Tronchetti G. 2010. A preliminary quantitative study of foraminifera within the paleoenvironmental record of the Aptian stratotypes. *Revue de Micropaléontologie*, 53 (3): 193-208.
- Moullade M., Kuhnt W., Bergen J.A., Masse J.A. & Tronchetti G. 1998. Correlation of biostratigraphic and stable isotope events in the Aptian historical stratotype of La Bédoule (SE France). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 327: 693-698.
- Moullade M., Bellier J.-P. & Tronchetti G. 2002. Hierarchy of criteria, evolutionary processes and taxonomic simplification in the classification of Lower Cretaceous planktonic foraminifera. *Cretaceous Research*, 23: 111-148.
- Moullade M., Tronchetti G. & Bellier J.-P. 2005. The Gargasian (Middle Aptian) strata from Cassis-La Bédoule (Lower Aptian historical stratotype, SE France): planktonic and benthic foraminiferal assemblages and biostratigraphy. *Carnets de Géologie / Notebooks on Geology, Maintenon, Article 2005/02 (CG2005\_A02)*, 20 pp.
- Moullade M., Bellier J.-P. & Tronchetti G. 2008. Associations et biostratigraphie des foraminifères benthiques et planctoniques du Bédoulien sommital et du Gargasien inférieur de la Tuilière – St-Saturnin-lès-Apt (aire stratotypique de l'Aptien, Vaucluse, SE France). *Carnets de Géologie / Notebooks on Geology, Article 2008/01 (CG2008\_A01)*, 32 pp.
- Moullade M., Granier B. & Tronchetti G. 2011. The Aptian Stage: Back to fundamentals. *Episodes* 34 (3): 148-156.
- Mutterlose J., Pauly S. & Steuber T. 2009. Temperature controlled deposition of early Cretaceous (Barremian-early Aptian) black shales in an epicontinental sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 273: 330-345.
- Neagu T. 1975. Monographie de la faune des foraminifères éocétacés du couloir de Dimbovicioara, de Codlea et des Monts Persani (couches de Carhaga). *Institut de Géologie et de Géophysique, Mémoires*, Bucarest, 25: 141 pp.
- Premoli Silva I. & Sliter W.V. 1995. Cretaceous planktonic foraminiferal biostratigraphy and evolutionary trends from the Bottaccione section, Gubbio, Italy. *Palaeontographia Italica*, 82: 1-89.
- Premoli Silva I. & Sliter W.V. 1999. Cretaceous paleoceanography; evidence from planktonic foraminiferal evolution. In: Barrera E.J. & Johnson C.C. (Eds.), *Evolution of the Cretaceous Ocean-Climate System Geological Society of America, Special Paper*, 332: 301-328.
- Robaszynski F. & Caron M. 1979. Atlas des foraminifères planctoniques du Crétacé moyen. *Cahiers de Micropaléontologie*, 1: 1-185 et 2: 1-181.
- Robaszynski F. & Caron M. 1995. Foraminifères planctoniques du Crétacé: commentaire de la zonation Europe-Méditerranée. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 166: 681-692.
- Rückheim S. & Mutterlose J. 2002. The Early Aptian migration of planktonic foraminifera to NW Europe: the onset of the mid-Cretaceous plankton revolution in the Boreal Realm. *Cretaceous Research*, 23: 49-63.
- Salaj J. 1980. Microbiostratigraphie du Crétacé et du Paléogène de la Tunisie septentrionale et orientale (Hypostratotypes Tunisiens). *Institut Géologique de Dionyz Stür, Bratislava*, 238 pp.
- Salaj J. & Maamouri A.L. 1978. Microbiostratigraphie du Crétacé inférieur du Djebel Oust (Tunisie septentrionale). Actes du VI<sup>e</sup> Colloque Africain de Micropaléontologie-Tunis, 1974. *Annales des Mines et de la Géologie de Tunis, Tunis N° 28, Tome 2*: 91-101.
- Schlanger S.O. & Jenkyns H.C. 1976. Cretaceous anoxic events: causes and consequences. *Geologie en Mijnbouw*, 55: 179-184.
- Sigal J. 1952. Aperçu stratigraphique sur la micropaléontologie du Crétacé. *XIX<sup>e</sup> Congrès Géologique International, Monographies Régionales, Série 1, Algérie*, 26: 1-47.
- Sigal J. 1977. Essai de zonation du Crétacé méditerranéen à l'aide des foraminifères planctoniques. *Géologie Méditerranéenne*, 4: 99-108.
- Sigal J. 1987. Une échelle zonale du Crétacé méditerranéen et quelques réflexions suscitées par son établissement, particulièrement à propos du Danien. *Revue de Micropaléontologie*, 30: 32-51.
- Sliter W.V. 1989. Biostratigraphic zonation for Cretaceous planktonic foraminifera examined in thin sections. *Journal of Foraminiferal Research*, 19: 1-19.
- Verga D. & Premoli Silva I. 2002. Early Cretaceous planktonic from the Tethys: the genus *Leupoldina*. *Cretaceous Research*, 23: 189-212.
- Verga D. & Premoli Silva I. 2003a. Early Cretaceous planktonic foraminifera from the Tethys: the small, few-chambered representatives of the genus *Globigerinelloides*. *Cretaceous Research*, 24: 305-334.
- Verga D. & Premoli Silva I. 2003b. Early Cretaceous planktonic foraminifera from the Tethys: the large, many-chambered representatives of the genus *Globigerinelloides*. *Cretaceous Research*, 24: 661-690.
- Verga D. & Premoli Silva I. 2005. Early Cretaceous planktonic foraminifera from the Tethys: the Upper Aptian, planispiral morphotypes with elongate chambers. *Cretaceous Research*, 26: 239-259.