

## Les Foraminifères benthiques du Jurassique moyen du Haut Atlas de Rich-Gourrama (Maroc) : biostratigraphie, renouvellements et stratégies d'adaptation

Loubna BOURHIM<sup>1</sup>, Hamid AMHOUD<sup>1</sup>, Driss SADKI<sup>1\*</sup>, Abdellah AIT ADDI<sup>2</sup>,  
Boumediane CHBANI<sup>3</sup> & Ayad AKASBI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université Moulay Ismaïl, Faculté des Sciences de Meknès, Département de Géologie, BP. 11201, Zitoune, 50070 Meknès, Maroc

<sup>2</sup> Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences et Techniques, Département des Sciences de la Terre, Laboratoire Géoscience et Environnement, Bd Abdelkarim El Khattabi, B.P. 549, 40000 Marrakech, Maroc

<sup>3</sup> Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences Semlalia, Département de Géologie, Bd. Prince My Abdellah, B.P. 2390, 40000 Marrakech, Maroc

\* Auteur correspondant, E-mail : driss.sadki@gmail.com

### Résumé

La distribution stratigraphique synthétique des principales espèces de foraminifères benthiques telle qu'elle se dégage des faciès de l'Aalénien au Bathonien basal du Haut Atlas centro-oriental (régions de Rich-Gourrama) montre des relais de différentes associations d'espèces de foraminifères benthiques. Cette distribution, qui se traduit par des variations progressives ou des changements importants de la microfaune, nous a permis :

- d'établir un découpage biostratigraphique grâce aux espèces indicatrices. Quatre associations comparables à celles identifiées dans d'autres bassins marocains pour la même période sont ainsi reconnues : (1) association à *Lenticulina galeata* et *Garantella ampasindavaensis*, (2) association à *Lenticulina quenstedti* et *Garantella stallata*, (3) association marquée par l'explosion des agglutinés et des formes du genre *Lenticulina* à test costulé et déroulé, et (4) association à dominance des formes agglutinées ;
- de suivre l'évolution des peuplements microfauniques en relation avec les changements des conditions paléoenvironnementales (bathymétrie, oxygénation, nature du substrat). Les traces de ces changements sont ainsi fidèlement enregistrées par les foraminifères qui adoptent différentes stratégies, exprimées par des modifications morphologiques concernant, entre autres, la forme du test, le mode d'enroulement et la surface externe du test.

Les fréquences relatives des groupes de foraminifères reconnus dans les différents lavages réalisés en plusieurs points de chaque coupe au cours de cette période montrent, ainsi, une écoséquence en parfait accord avec l'évolution des dépôts.

### Mots-clés

Foraminifera, Jurassique moyen, Haut Atlas marocain, Biostratigraphie, Paléoécologie, Adaptation.

### Abstract

**Benthic foraminifera from the Middle Jurassic of the Rich-Gourrama (High Atlas, Morocco) : biostratigraphy, faunal renewal and adaptive strategies.** - The stratigraphic distribution of the main benthic foraminifera recorded from the Middle Jurassic (Aalenian to basal Bathonian) of the Central Eastern High Atlas (Rich-Gourrama area) shows a succession of different changes in the benthic foraminiferal associations. The analyses of the associations allowed us :

- to establish a biostratigraphic scale thanks to the index species. Four associations comparable to those identified in other Moroccan basins for the same period are recognized : (1) association with *Lenticulina galeata* and *Garantella ampasindavaensis*, (2) association with *Lenticulina quenstedti* and *Garantella stallata*, (3) association marked by the proliferation of agglutinated species of genus *Lenticulina*, with test ribbed and unrolled, and (4) association with predominantly agglutinated forms ;
- to follow the evolution of microfaunal populations in relation with palaeoenvironmental changes (bathymetry, oxygenation, substrate nature, etc.). These changes are witnessed by the foraminiferal record highlighting different adaptive strategies, expressed by morphological changes concerning, inter alia, the form of the test, the winding mode and the external surface of the test.

Consequently, the relative frequencies of foraminiferal populations during this period show an eco-sequence in perfect agreement with the evolution of deposits.

### Keywords

Foraminifera, Middle Jurassic, Moroccan High Atlas, Biostratigraphy, Paleoecology, Adaptation.

---

Soumis octobre 2017, accepté octobre 2018

Rédacteur en charge : A. Piuz

DOI: 10.5281/zenodo.3265241

## 1. INTRODUCTION

L'évolution du bassin du Haut Atlas marocain au cours du Jurassique s'inscrit dans l'histoire géodynamique de la marge nord-ouest de la plaque africaine qui constitue la jonction entre la Téthys et l'Atlantique central (Fig. 1). Ce bassin a fait l'objet de nombreux travaux géologiques de différentes disciplines. Le modèle paléogéographique généralement proposé au cours du Jurassique inférieur est de type marin relativement profond dans sa partie centrale et peu profond vers le nord et le sud des marges du bassin (Choubert & Faure-Muret 1960-1962; Dubar, 1960-1962; Dresnay, 1971a, 1976; Michard, 1976; Dubar & Mouterde, 1978; Warme, 1988).

Dans le Haut Atlas, entre Rich et le sud-est de Gourrama, les dépôts du Jurassique moyen affleurent largement et remplissent de larges structures synclinales à fond plat et à axes orientés sensiblement E-W (Figs 2-3). Les dépôts étudiés dans ce travail, d'âge Aalénien-Bathonien basal, sont formés pour l'essentiel d'épais intervalles de marnes entrecoupés de bancs calcaires qui deviennent de plus en plus abondants, de la base au sommet de la série.

## 2. MÉTHODES

Les résultats de ce travail sont le fruit d'observations et d'examen sur le terrain, complétés par des analyses et des techniques d'étude au laboratoire.

Sur le terrain, le travail a été d'abord focalisé sur des levés de coupes de détail, après l'examen des relations spacio-temporelles entre les différentes formations. Pour les trois coupes synthétiques étudiées, les particularités sédimentaires (structure, couleur, texture, figures sédimentaires...), le contenu paléontologique et les discontinuités sédimentaires sont soigneusement repérés et notés. Les unités lithostratigraphiques sont individualisées, les séquences sédimentaires et les corrélations latérales sont dégagées. En vue de compléter les travaux de terrain, un échantillonnage systématique, chaque fois que cela s'avère nécessaire, a été réalisé aussi bien sur les bancs calcaires que dans les niveaux tendres.

Au laboratoire, pour l'analyse du microfaciès des bancs compétents, une centaine de lames minces sont confectionnées et étudiées. Les classifications adoptées pour l'étude des faciès carbonatés sont celles de Folk (1959) et de Dunham (1962). Pour l'étude micropaléontologique, 500 g de sédiment de chaque niveau tendre échantillonné est lavé selon le protocole classique de lavage sous une colonne de tamis (400 µm, 300 µm, 200 µm et 100 µm). Ainsi, chaque échantillon de marne est mis préalablement (24 à 48 heures) dans un bassinnet d'eau additionnée d'eau oxygénée avant le lavage sous un jet d'eau continu, jusqu'à ce que l'eau qui sort du dernier tamis soit limpide. Pour chaque échantillon, une fiche synoptique est remplie où sont reportés : les illustrations des espèces de foraminifères analysées par microscope



Fig. 1 : Carte paléogéographique du Jurassique moyen de l'hémisphère Nord adaptée, d'après Golonka (2011) et Fernandez-Lopez & Pavia (2015).

électronique à balayage (MEB) au Centre minier de Guemassa à Marrakech, les classifications des espèces, le nombre d'individus par espèce, les fréquences relatives des espèces et des groupements d'espèces. La classification utilisée est celle de Loeblich & Tappan (1964, 1974, 1981) sauf pour la superfamille des Ceratobuliminae pour laquelle nous avons retenu la classification de Grigelis (1978); ainsi que celle de Morris & Coleman (1989) pour le Jurassique moyen.

Ceci nous a facilité les études quantitatives et qualitatives des peuplements des foraminifères et leur évolution dans le temps et dans l'espace.

## 3. LITHOSTRATIGRAPHIE

Dans les dépocentres subsidants, la série du Toarcien-Bathonien du Haut Atlas de Rich-Gourrama correspond aux formations de Tagoudite, d'Agoudim et de Tazigzaout (Fig. 4).

Dans le présent travail, les dépôts étudiés d'âge Aalénien-Bathonien basal appartiennent aux formations d'Agoudim (membres II, III et IV) et de Tazigzaout (Fig. 4). Seules ces unités stratigraphiques seront décrites en détail.

La coupe de Bou Kendill-Tazigzaout (**BK-TZ**) (Fig. 5) sert de référence. En effet, celle-ci est plus complète et à affleurements bien dégagés et continus et sa biozonation est la plus évidente grâce aux nombreuses ammonites reconnues dans la région, surtout pour l'Aalénien et le Bajocien inférieur (Sadki, 1994a, b, 2015; Amhoud, 1999, Ait Addi, 1994, 2002; Ait Addi & Chafiki, 2013) et les études des brachiopodes pour le Bajocien inférieur (Sadki & Alméras, 1992) et pour le Bathonien (Alméras et al., 1994; Ait Addi, 2002). Les descriptions complémentaires des mêmes unités dans les autres secteurs se feront par comparaison avec leurs équivalents de la coupe de référence.

Les coupes qui couvrent les dépôts aaléno-bathoniens, dans cette partie du Haut Atlas marocain, sont

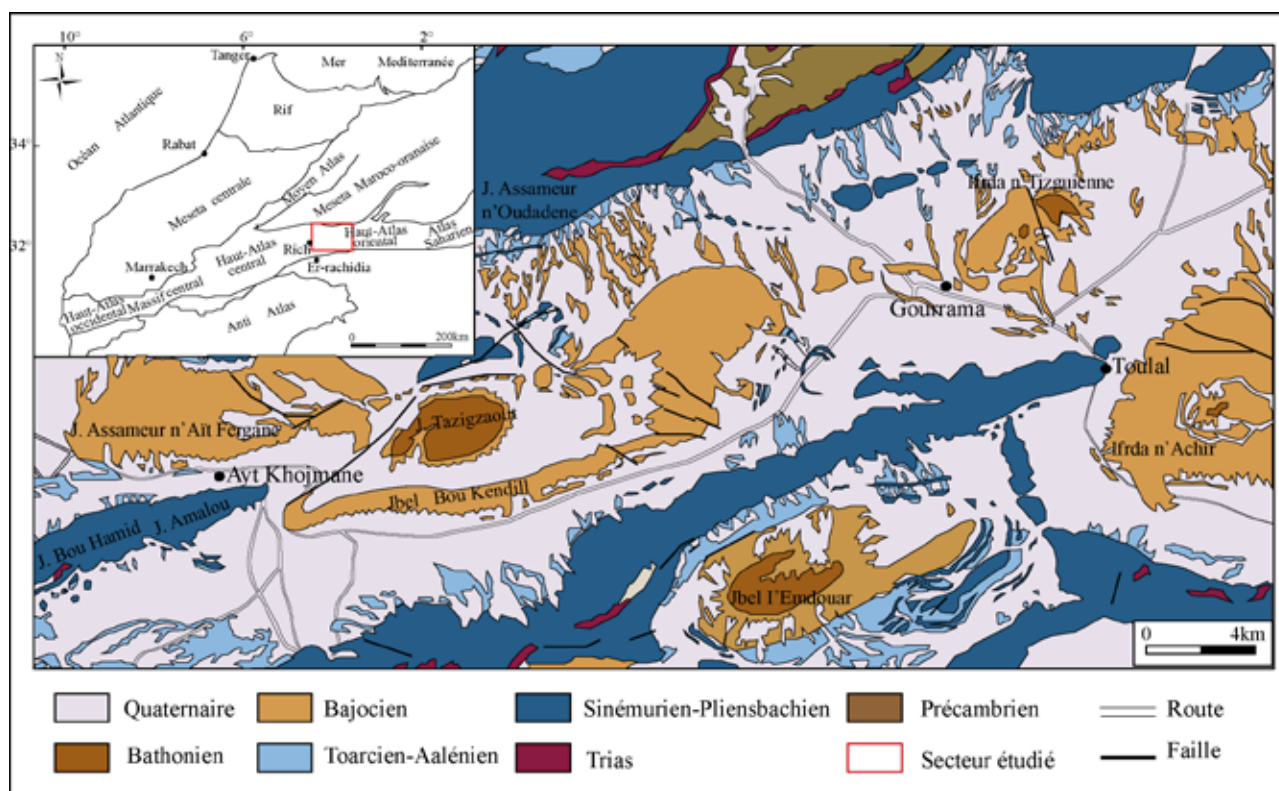


Fig. 2: Carte géologique simplifiée de la zone étudiée (Haut-Atlas de Rich-Gourrama au nord d'Errachidia, tirée de Choubert *et al.*, 1956; redessinée).

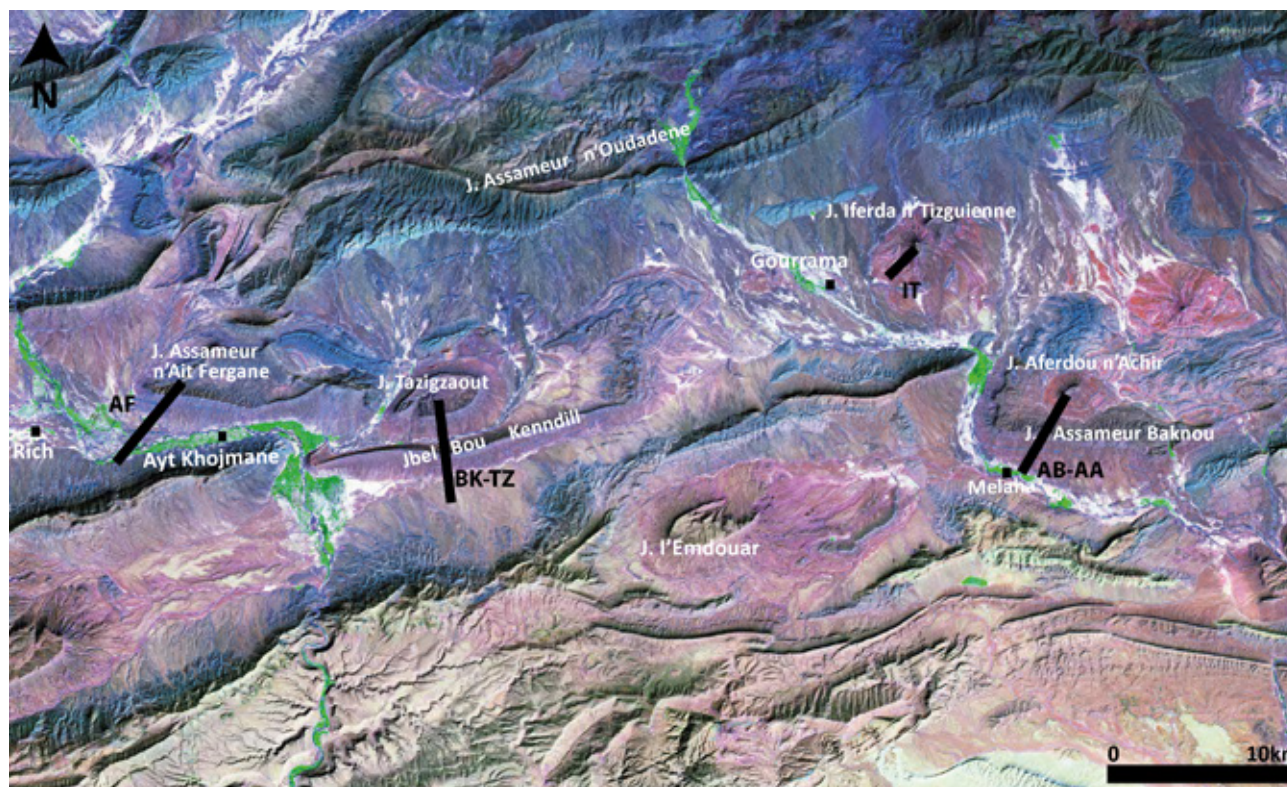


Fig. 3: Photo satellitaire du Haut Atlas de Rich-Gourrama au nord d'Errachidia et localisation des coupes étudiées. (AF: Assameur n'Ait Fergane; BK-TZ: Bou Kendill-Tazigzaout; IT: Iferdou n'Tizguienne; AB-AA: Assameur Baknou-Aferdou n'Achir).

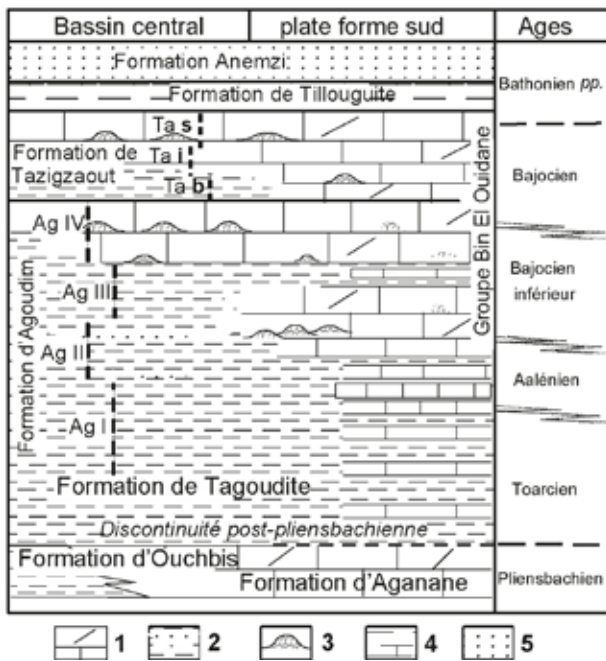


Fig. 4: Succession lithostratigraphique du Lias-Dogger dans le Haut Atlas marocain, nord d'Errachidia (d'après Ait Addi, 2015). 1 : calcaire et dolomie, 2 : marnes et argiles avec localement des chenaux de calcaire biodétritique, 3 : monticules bioconstruits et patch reefs, 4 : marnes, argiles et calcaires, 5 : silt, grès et conglomérats, Ag I à Ag IV : membres d'Agoudim, Ta b, Ta i & Ta s : membres basal, médian et sommital de la Formation de Tazigzaout.

minutieusement choisies, levées et systématiquement échantillonnées (Figs 2-3); d'est en ouest :

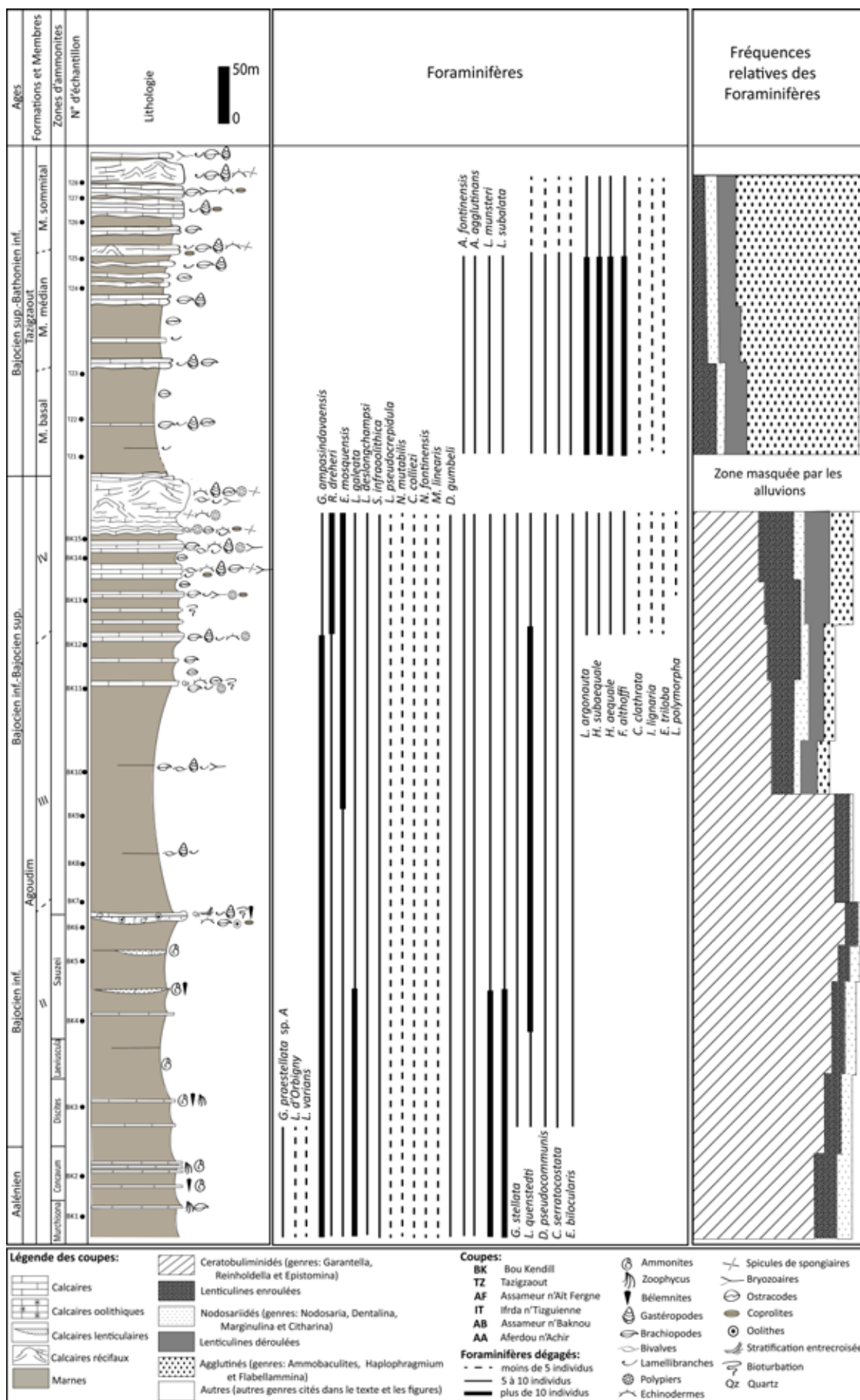
- la première coupe de la Formation d'Agoudim d'Assameur n'Aït Fergane (**AF**) est levée sur le flanc SW de Jbel Assameur n'Aït Fergane, près du village d'Ayt Khojmane à 6 km au SE de Rich (feuille de Gourrama à 1/100000). Le tracé de la coupe est grosso modo orienté SW-NE, partant du SW au point GPS : N32°15'32.58"; W 04°28'55.81" vers le NE au point GPS : N32°16'40.93"; W04°25'21.96";
- la deuxième coupe de Bou Kendill-Tazigzaout (**BK-TZ**) commence en contrebas du flanc sud du Jbel Bou Kendill et se termine au niveau du sommet de Jbel Tazigzaout (feuille de Gourrama à 1/100000). Le tracé de la coupe, sensiblement orienté sud-nord, a pour coordonnées du sud vers le nord les points GPS : N32°14'22.8"; W04°15'00.49" et : N32°15'28.50"; W04°17'43.18". La deuxième partie de la coupe (Formation de Tazigzaout) est levée sur la pente descendante de Jbel Tazigzaout dans la localité de Tazmamart, entre les points GPS N32°15'31.0"; W04°18'39.4" et N32°16'32.2"; W04°18'40.7";

- la troisième coupe d'Ifrda n'Tizguienne (**IT**), qui intéresse la Formation de Tazigzaout, est levée à environ 6 km au NE de la petite ville de Gourrama (feuille de Gourrama à 1/100000). Elle commence au pied de Jbel Ifrda n'Tizguienne (point GPS : N32°21'40.3"; W04°00'38.8") et s'achève à son sommet (N32°22'04.1"; W04°00'22.2");
- et la quatrième coupe d'Assameur n'Baknou-Aferdou n'Achir (**AB-AA**), située à environ 10 km au SE de Gourrama, commence à la base du flanc sud du Jbel Assameur n'Baknou, coiffée par la barre des calcaires corniches (feuille de Guelb Ettour, 1/50000). Le tracé de la coupe a une orientation grossière SSW-NNE entre les points GPS : N32°14'56.4"; W03°57'54.8" et N32°16'16.1"; W03°57'04.82. La suite de la coupe (formation de Tazigzaout), est levée sur le flanc sud du Jbel d'Aferdou n'Achir, entre les points GPS : N32°16'39.3"; W03°56'35.6" et N32°17'05.5"; W03°55'59.6".

### 3.1. Formation d'Agoudim

La Formation d'Agoudim, définie dans la localité de Tounfit-Tirrhist par Studer (1980), est datée du Toarcien à Bajocien. Elle est caractérisée par une sédimentation essentiellement marneuse, entrecoupée d'assises calcaires de plus en plus épaisses et abondantes vers le sommet. Cette puissante formation a été étudiée en différents points du sillon haut atlasique et a fait l'objet de nombreux découpages lithostratigraphiques. Elle a été subdivisée au sud de Rich en cinq unités (Stanley, 1981), alors qu'entre Midelt et Rich, Bernasconi (1983) et Brechbühler (1984) y reconnaissent deux membres, inférieur et supérieur. Dans le Haut Atlas au nord d'Errachidia, la Formation d'Agoudim d'âge Toarcien à Bajocien présente une épaisseur variable allant de 700 à 1400 m et a été subdivisée en quatre membres distincts (Ait Addi, 1994, 2002). Sadki *et al.* (1999) précisent ce découpage et distinguent les unités suivantes : Formation de Tagoudite (dépôts turbiditiques du Toarcien inférieur); Formation d'Agoudim (dépôts marneux et marno-calcaires du Toarcien moyen à Aalénien); Formation de Bou-Kendil (dalles à «*Cancellophycus*» de l'Aalénien supérieur - base du Bajocien), Formation de Talsint (marnes du Bajocien inférieur) et Formation de Kerrando (calcaires corniches du Bajocien supérieur). La stratigraphie de la Formation d'Agoudim est par la suite affinée par les études des faunes d'ammonites aaléno-bajociennes (Sadki, 1996) et les successions des foraminifères (Amhoud, 1999), en y définissant trois membres : inférieur, moyen et supérieur. Les dépôts de l'Aalénien-Bajocien, étudiés ici, appartiennent aux membres II, III et IV de la Formation d'Agoudim (Figs 5-8 et Fig 9A).

Fig. 5: Coupe de Jbel Bou Kendill-Tazigzaout (BK-TZ) et répartition stratigraphique et fréquences relatives des foraminifères. ►



• **Membre II** mesure plus de 250 m d'épaisseur (Figs 5, 6 et 8; Fig. 9A). Il représente (en partie) l'équivalent du membre inférieur décrit par Bernasconi (1983) et par Brechbühler (1984) et correspond aux unités **A** et **B** de Stanley (1981). Une partie de ce membre est masquée par les dépôts quaternaires, notamment les alluvions de l'oued Ziz et vers l'est dans le secteur de Guelb Ettour de l'oued Guir (Figs 2-3). La coupe commence alors dans la partie supérieure de ce membre.

Ce membre est daté de l'Aalénien (Choubert *et al.*, 1956; Stanley, 1981; Warme *et al.*, 1988). Dans le domaine de Rich, les ammonites abondantes (travaux de Sadki e. g. 1996) et diversifiées dans les marnes permettent de dater ces dépôts de l'Aalénien supérieur-Bajocien inférieur (Sadki, 1994a). Les ammonites ont permis d'établir un cadre biostratigraphique précis et de proposer le secteur de Rich comme stratotype auxiliaire pour la limite entre l'Aalénien et le Bajocien (Sadki, 1994b) alors que les

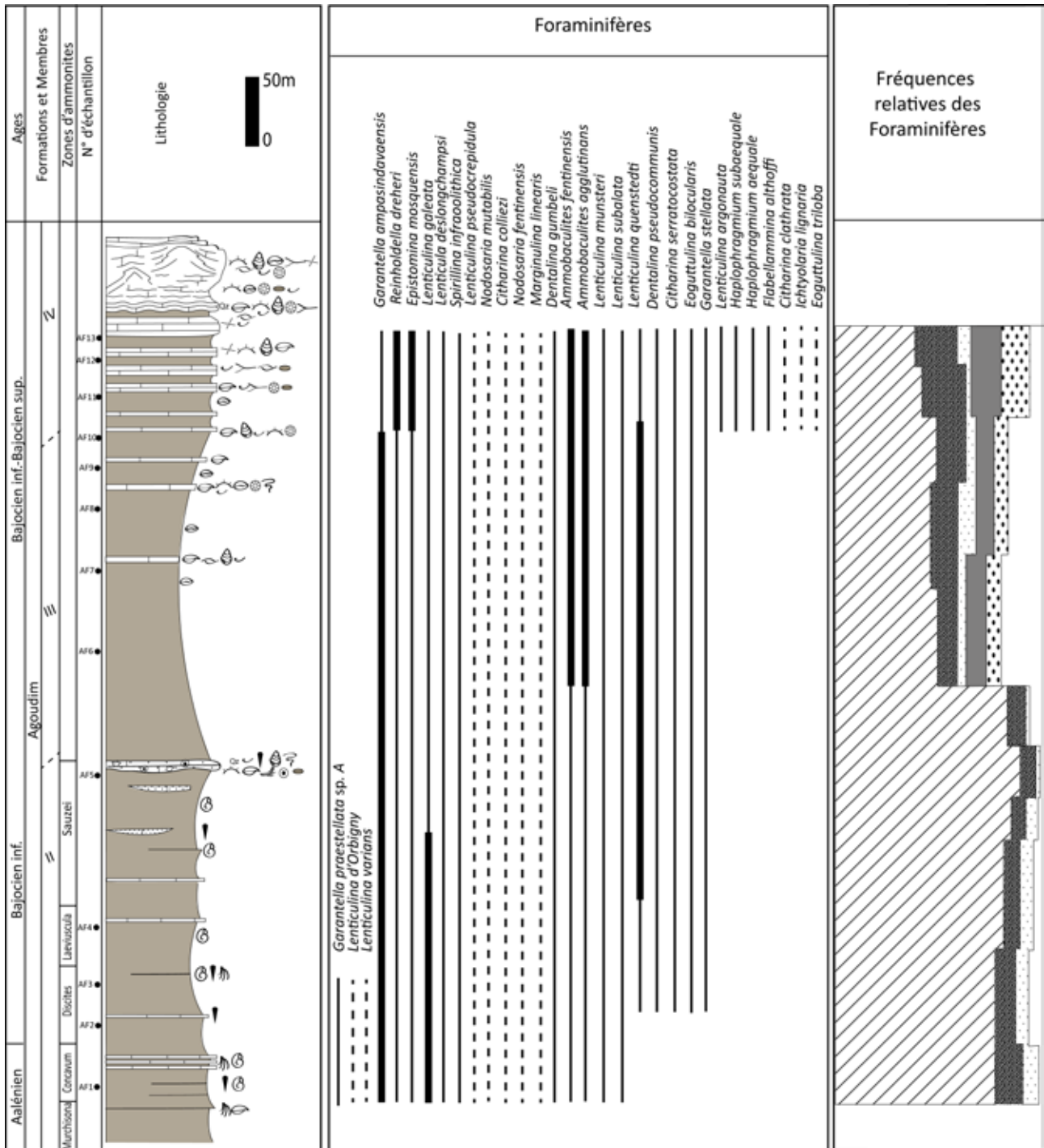


Fig. 6: Coupe de Jbel Assameur n° Ait Fergane (AF) et répartition stratigraphique et fréquences relatives des foraminifères.

bélemnites ont fait l'objet d'un travail récent par Weis *et al.* (2017). La faune des ammonites pyriteuses, souvent mal conservées, a permis d'attribuer les couches inférieures de ce membre à l'Aalénien et les parties supérieures au Bajocien inférieur (Sadki, 1984; Ait Addi, 1994, 1998).

D'un point de vue lithologique, le membre II de la Formation d'Agoudim correspond à des alternances irrégulières de niveaux marneux métriques et d'assises calcaires centimétriques à décimétriques montrant un pendage de 30 à 40° vers le nord. La faune est localement abondante et diversifiée: nucleus d'ammonites pyriteuses, rostrés de bélemnites, valves dissociées de brachiopodes et de bivalves et des moulages de coquilles de gastéropodes dans les niveaux calcaires. Les bancs calcaires bioclastiques bleu-noir à la cassure, montrant à leur surface des traces de *Zoophycos* (Fig. 9B) d'où leur nom des «calcaires à *Cancellophycus*» (Dresnay, 1979), sont des biomicrites mudstones à wackestones (Pl. I, A). Au sommet de ce membre, ces bancs correspondent à des passées de calcaires quartzeux jaunâtres qui alternent avec d'épaisses barres organo-détritiques noires. La dernière de ces barres et la plus puissante (3 à 5 m) forme

un bon repère topographique dans la région et sépare les membres II et III de la Formation d'Agoudim (Fig. 9C). Il s'agit d'une barre calcaire sombre, à affleurement discontinu, lithoclastique et lenticulaire à stratification entrecroisée. Sa surface basale est ravinante et sa surface sommitale est bioérodée et oxydée. C'est une oobiodétritique de type packstone à grainstone (Pl. I, B) à éléments figurés déposés dans une matrice microsparitique et à lithophase dominée par des oolithes, pellets, quartz et lithoclastes. La riche faune est composée de bivalves, brachiopodes, échinodermes, rostrés de bélemnites et localement des nucleus d'ammonites. Dans ces mêmes barres, Ait Addi (2002) a signalé la présence de quelques débris de polypiers et d'éponges. Aux jebels Assrem et n'Hakht et dans les secteurs de Ouafoullis et Dait (nord d'Errachidia) les équivalents de ces barres ont livré des foraminifères du groupe Orbitholiniforme (*Parurgonina* sp.) et d'autres formes rappelant les haurranidés et les valvulinidés (Ait Addi, 2002).

Les interbancs de marnes, tantôt tendres tantôt dures, ont livré une microfaune très riche en foraminifères et en ostracodes. Les foraminifères (Figs 5-8; Pl. II-III) y sont dominés par le groupe des cératobuliminidés, notamment

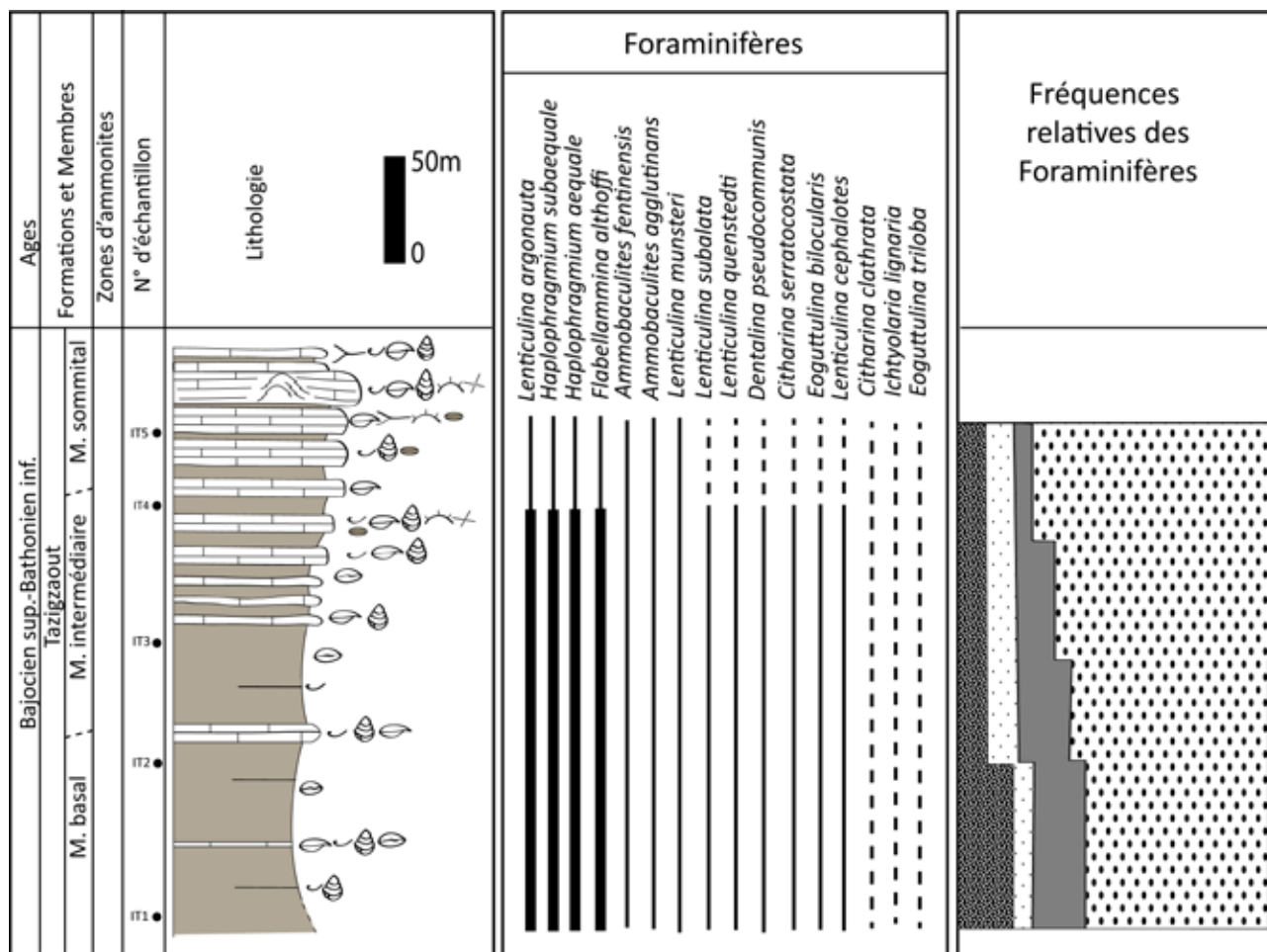


Fig. 7: Coupe de Jbel Iferda n'Tizguienne (IT) et répartition stratigraphique et fréquences relatives des foraminifères.

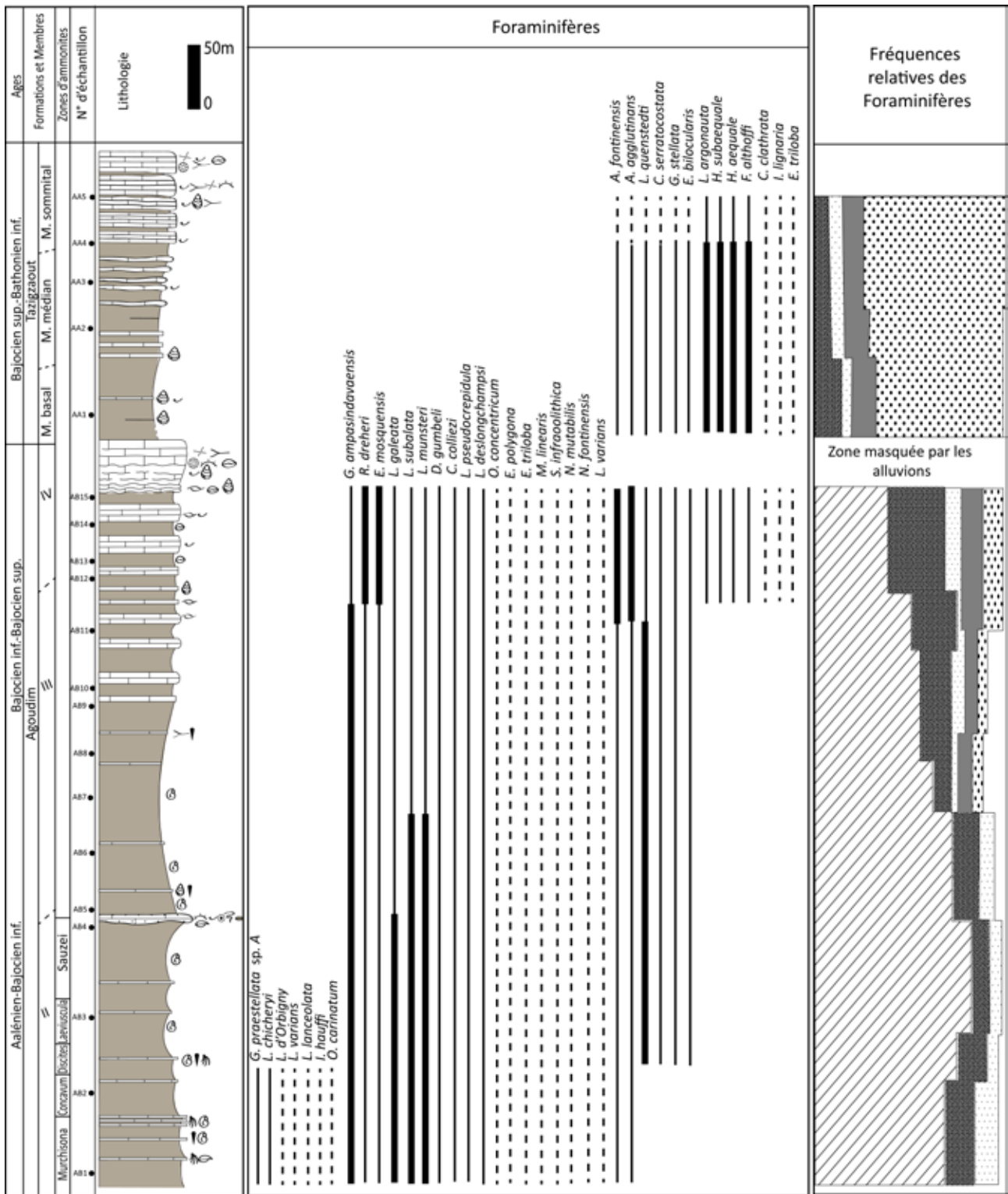
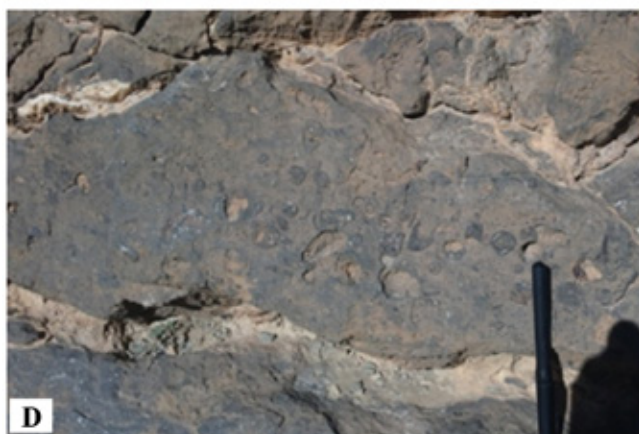


Fig. 8: Coupe de Jbel Assameur n'Baknou-Aferdou n'Achir (AB-AA) et répartition stratigraphique et fréquences relatives des foraminifères.

Fig. 9: Planches photographiques des formations d'Agoudim et de Tazigzaout dans les localités des Jbels Bou Kendill et Tazigzaout. A. Vue d'ensemble du flanc sud du Jbel Bou Kendill; B. Traces de *Zoophycos* (membre II d'Agoudim); C. Barre organodétritique du sommet du membre II d'Agoudim; D. Surface de barre calcaire fossilifère (membre III d'Agoudim); E. Détail des calcaires corniches à bioconstructions; F. Vue d'ensemble du flanc sud-ouest du Jbel Tazigzaout; G. Bioconstructions du membre sommital de Tazigzaout. ▶





les espèces *Garantella ampasindavaensis* Espitalie & Sigal et *Garantella stellata* Kaptarenko et de la forme décrite par Amhoud (1999) *Garantella* sp. A (*Garantella praestellata* Amhoud, 1999, espèce non valide, car non publiée au sens du code de nomenclature zoologique). Celles-ci sont concurrencées par les lenticulines enroulées : *Lenticulina subalata* Reuss et *Lenticulina münsteri* Roemer et auxquelles sont associées, en nombre d'individus réduit, *epistommina mosquensis* Uhlig du groupe des epistominidés et *Eoguttulina bilocularis* Terquem du groupe des polymorphinidés. Dans le groupe des agglutinés, les deux espèces *Ammobaculites agglutinans* (d'Orbigny) et *Ammobaculites fontinensis* (Terquem) sont rares.

Les ostracodes fréquents et reconnus dans ces niveaux sont constitués par les genres : *Procytheridea*, *Cytherella*, *Bairdiacyris* et *Micropneumatocythere*.

• **Membre III** fait environ 300 m d'épaisseur (Figs 5, 6 et 7 ; Fig. 9A). Il forme l'équivalent des unités C et D de Stanley (1981). Il diffère du premier membre par une sédimentation à dominance marneuse. Les bancs calcaires réduits en nombre et en puissance à la base deviennent plus abondants et plus puissants en se rapprochant des calcaires corniches (membre IV) avec un contenu faunique à cachet périrécifal à épirécifal : bivalves, gastéropodes, brachiopodes, bryozoaires, algues calcaires, oursins, ophiures, coprolithes, articles d'encrines, polypiers et ostracodes. Ils forment par endroits des niveaux centimétriques à décimétriques (0,2 m maximum) très fossilifères. Un de ces niveaux (Fig. 9D), situé à environ 50 m sous les calcaires corniches, est composé entièrement de coquille de brachiopodes dont : *Loboidothyris perovalis* Sowerby, *Tubithyris globata* Sowerby, *Ferrythyris eliana* Almeras & Moulán, *Zeilleria* cf. *subbucculenta* Chapuis & Dewalque et *Rugitela prebullata* Rousselle. Certaines de ces espèces sont indicatrices du Bajocien supérieur (zones à Humphriesianum et à Niortense) (Almeras *et al.*, 1994). La partie basale de ce membre est marquée par l'arrivée précoce de faciès gréseux calcarénitique ; il s'agit d'une intercalation (2 à 3 m), en bancs centimétriques à décimétriques, de grès fin bioclastique à galets mous, à stratifications obliques et à rides de vagues montrant des directions de courants dominants généralement est-ouest (Ait Addi, 2002, 2008). A noter aussi que toute la série du Jurassique moyen de cette région est parsemée par de minces lits (1 à 5 cm) biocalcarénitiques apparaissant sous forme de petits corps chenalisés au sein des barres de calcaires fins, bioclastiques et noduleux ; interprétés comme des dépôts de tempestites (Ait Addi, 2008 ; Schlögl *et al.*, 2017).

Le microfaciès silteux des barres carbonatées montre, en général, une biomicrite de type wackestone évoluant à une pelbiomicrite ou oopelbiomicrite de type packstone (Pl. I, C). Les oolithes forment localement près de 50% des éléments figurés, ont des formes sphériques, ovoïdes ou allongées et ont souvent un noyau micritique et un cortex développé affecté de structures diagénitiques radiaires.

Les niveaux marneux, de moins en moins puissants vers le sommet de ce membre, montrent d'abondants moulages de posidonomes et une faune pélagique et nectonique d'ammonites et de bélemnites.

La moitié inférieure de ce membre à dominance marneuse a livré une riche microfaune de foraminifères (Figs 5-8 ; Pl. II-III). Si la plupart des espèces sont héritées du membre inférieur, les fréquences relatives des espèces montrent la prolifération progressive de l'espèce *Epistommina mosquensis* Uhlig, de *Reinholdella dreheri* Bartenstein et de *Lenticulina subalata* Reuss. Vers le sommet de ce membre, on note une nette réduction des cératobuliminidés au profit d'une augmentation des fréquences relatives des agglutinés et des lenticulines en voie de déroulement (surtout l'espèce *Lenticulina argonauta* Kopik) dont les individus atteignent de grandes dimensions (jusqu'à 2 mm de longueur).

• **Membre IV** mesure environ 120 m d'épaisseur et est marqué par la prédominance de la sédimentation carbonatée (Figs 5, 6 et 8 ; Fig. 9A). Les bancs calcaires, de plus en plus puissants et abondants, sont coiffés par une puissante barre qui correspond aux calcaires corniches (Fig. 9A et 9E), reconnus et décrits particulièrement dans le Moyen Atlas (Termier, 1936 ; Choubert, 1956 ; Colo, 1961 ; Dresnay, 1963, 1971a, b). Cette barre sommitale, qui correspond à l'unité E de Stanley (1981) et à la Formation de Kerrando (Sadki *et al.*, 1999), est rattachée pour l'essentiel au Bajocien supérieur (zone à Niortense) (Almeras *et al.*, 1994). Les déterminations de quelques spécimens d'échinides (*Psephechinus globosus* Lambert, *Dilopodia* cf. *morierii* Cotteau, *Hemicidaris koechlini* Cotteau) ont permis à Ait Addi (1994) d'attribuer les dépôts de ce membre au Bajocien inférieur à supérieur probable. Sur les sommets des synclinaux de Jbel Assameur n'Aït Fergane et de Jbel et de Bou Kendill (Fig. 9A et 9E), le membre IV englobe au moins deux épaisses barres carbonatées bioclastiques séparées par des intervalles marneux (Ait Addi, 2002, 2006). Ces barres carbonatées montrent des intercalations récifales lenticulaires, sous forme de pinacles récifaux métriques « patch reefs » régulièrement espacées et perturbant la stratification. Ces monticules ont été étudiés en détail par Warme *et al.* (1975) et Ait Addi (2006, 2015). Ils sont très riches en faunes néritiques d'origine récifale : polypiers, éponges, bivalves, gastéropodes, bryozoaires, échinodermes, foraminifères, et des brachiopodes appartenant aux familles *rhynchonellidés* et *terebratulidés* et *zeilleriidés* (Almeras *et al.*, 1994).

Dans la région de Guelb Ettour, et précisément dans la localité de Jbel Assameur n'Baknou-Aferdou n'Achir (Fig. 8), les lentilles récifales sont difficilement visibles ou même absentes. A la base de cette barre, les bancs décimétriques à surface ondulée sont des packstones à quartz et les bancs supérieurs, plus épais, sont des grainstones à boundstones à bioclastes micritisés.

Dans la partie inférieure de ce membre, les bancs calcaires plus fossilifères ont des surfaces basales ondulées

et passent à des biomicrites à biopelmicrites packstones riches en oxyde de fer (Pl. I, D). Les bioclastes fins, parfois recristallisés, sont représentés par des bivalves, échinodermes, gastéropodes, brachiopodes et localement des serpulidés (Schlogl *et al.*, 2017). Dans ces conditions de milieu peu profond, la bioturbation accentuée et la disposition des bioclastes indiqueraient une énergie relativement élevée par rapport aux dépôts du membre inférieur. A la limite entre les membres III et IV se produit un bouleversement microfaunique important (Figs 5, 6 et 8). Les cératobuliminidés régressent beaucoup alors que les agglutinés et les nodosariidés à test planispiralé en voie de déroulement et à coquille costulée prolifèrent. De nouvelles formes apparaissent et constituent l'essentiel de la microfaune dans les niveaux supérieurs, notamment bathoniens. Il s'agit surtout de *Flabellamina althoffi* Bartenstein, *Haplophragmium aequale* Roemer, *Haplophragmium subaequale* Myatliuk, de *Lenticulina argonauta* Kopik et *Lenticulina polymorpha* Terquem. La microfaune des résidus des lavages s'avère également riche en ostracodes, en microgastéropodes, en microbivalves, en coprolithes, en radioles d'oursins, en spicules de spongiaires et en articles d'encrines.

### 3.2. Formation de Tazigzaout

Au Jbel Tazigzaout (entre les points GPS N32° 15' 31.0''; W04° 18' 39. 4'' et N32°16' 32.2''; W04°18'40.7''; Figs 5 et 9F), lieu où cette formation a été définie (Ait Addi, 1994), la succession stratigraphique (environ 550 m) est subdivisée de bas en haut de la série en trois membres distincts: membre basal, membre intermédiaire et membre sommital (Ait Addi, 1994, 2002). L'intense érosion cénozoïque serait à l'origine des affleurements, très limités, de cette formation, à quelques localités dans le Haut-Atlas centro-oriental (Ait Addi, 1994).

Dans le secteur de Gourrama, la Formation Tazigzaout présente des épaisseurs très variables et perd sensiblement de sa puissance vers le SE dans la localité de Jbel Aferdou n'Achir (Fig. 8, feuille de Guelb Ettour au 1/50 000) où nous avons levé la troisième coupe étudiée dans ce travail.

Les études des brachiopodes et de quelques ammonites dans le Haut-Atlas et les Hauts-Plateaux marocains, des faciès équivalents de la Formation de Tazigzaout, ont fourni un âge Bajocien supérieur-Bathonien (Dubar, 1952-1954; Dresnay, 1971a, 1979). Des déterminations plus récentes d'associations de brachiopodes dans le Jbel Tazigzaout (Ait Addi, 1994) attesteraient d'un âge plus ancien que celui avancé par les anciens travaux. Dans le présent travail nous adoptons les subdivisions de Ait Addi (1994, 2002).

• **Membre basal** (environ 300 m; Figs 5, 7 et 8; Fig. 9F) Ce membre est composé de niveaux métriques à décimétriques de marnes grises à verdâtres, entrecoupés d'assises centimétriques de calcaires discontinues et

finement silteuses (Fig. 9G). En lame mince les calcaires sont des biomicrites wackestones à packstones (Pl. I, E) à bioclastes représentés par des fragments de brachiopodes, des crinoïdes et des bivalves. Les grains de quartz détritiques y sont abondants. Progressivement, les niveaux compétents deviennent plus nombreux et plus fossilifères, surtout dans les localités de Jbel Tazigzaout et de Jbel Iferda n'Tizguienne (Fig. 7).

La partie basale de ce membre est formée par des intervalles de marnes jaune-vert et gris-noir tantôt tendres, tantôt à débit schisteux, entrecoupées de bancs de calcaire marneux, de calcaire fin bioclastique et de minces lits de dépôts de tempestites (Ait Addi, 2002, 2008). Ces niveaux ont livré deux fragments d'ammonites rappelant *Phylloceras* sp. et *Cadomites* sp. (déterm. par R. Du Dresnay; Ait Addi, 2002). Les intervalles marneux sont armés de quelques barres lenticulaires (0 à environ 25 m) à grande extension de calcaire gris-noir, noduleux, très bioclastique passant latéralement et localement à des petits monticules récifaux de dimensions métriques (Ait Addi *et al.*, 1998; Ait Addi, 2002; Ait Addi & Chafiki, 2013).

Les niveaux marneux ont livré une microfaune, moins abondante et moins diversifiée par rapport aux niveaux sous-jacents. Si toutes les espèces de foraminifères reconnues dans ce membre forment la continuité de celles des niveaux supérieurs de la Formation d'Agoudim, leurs proportions quantitatives et qualitatives changent considérablement.

Elles sont dominées par les agglutinés: *Flabellamina althoffi* Bartenstein, *Haplophragmium aequale* Roemer, *Haplophragmium subaequale* Myatliuk, *Lenticulina argonauta* Kopik, *Ammobaculites fontinensis* (Terquem) et *Ammobaculites agglutinans* (d'Orbigny) et auxquelles sont associés quelques individus de: *Lenticulina cephalotes* Kopik, *Eoguttulina bilocularis* Terquem, *Eoguttulina polygona* Terquem, *Citharina serratocostata* Gumbel, *Citharina clathrata* Terquem, *Citharina colliezi* Terquem, et *Dentalina gumbeli* Schwager.

• **Membre médian** (≈ 150 m; Figs 5, 7 et 8; Fig. 9F). Il se démarque du membre basal par une nette augmentation des bancs calcaires, plus puissants et plus fossilifères (Fig. 9G). Les bancs calcaires, à patine grise à la cassure, sont d'abord des packstones à quartz détritique (Pl. I, F) puis passent au sommet du membre à des packstones à grainstones riches en oxydes de fer. Les bioclastes très abondants sont composés de fragments de coquilles de divers groupes de faunes néritiques: bivalves, brachiopodes, gastéropodes, algues, échinodermes, bryozoaires, foraminifères et annélides. Les marnes, grisâtres à bleuâtres, sont organisées en niveaux stratodécroissants. Latéralement les barres de calcaire noduleux passent à des monticules bioconstruits «patch reefs» à polypiers (Ait Addi, 1994). Les brachiopodes récoltés dans ce membre montrent des associations monotones, riches en genres *Zeilleria* et *Monsardithyris* et indiquant un âge Bajocien supérieur-Bathonien ? (Ait Addi, 1994). Le schéma de

répartition des espèces de foraminifères est comparable à celui du membre basal. Les résidus des lavages des niveaux marneux montrent localement de grandes concentrations de bivalves, gastéropodes, brachiopodes, articles de crinoïdes, ostracodes et foraminifères.

• **Membre sommital** (≈ 75 m; Figs 5, 7 et 8; Fig. 9F). Il est formé par un empilement de barres calcaires strato-croissantes, décimétriques à métriques, à faunes péri-récifales passant latéralement (à Jbel Tazigzaout et à Jbel Iferda n'Tizguienne), par endroit, à des «patch reefs» de types framestones et bafflestones, métriques à coraux, algues micritisées (Fig. 9H) et quelques éponges (Ait Addi, 1994). Ces monticules sont largement décrits d'abord par Warme *et al.* (1975) puis par Ait Addi (2002, 2006, 2015). Ces niveaux correspondent à la deuxième barre des calcaires corniches (Dresnay, 1966). Quelques barres de calcaire grossier (packstone) pelletoidal et peu fossilifère (foraminifères benthiques et autres débris bioclastiques) et stratifications obliques s'intercalent localement au sein de cet intervalle bioconstruit (Ait Addi, 1994).

Dans la localité de Tazmamart, au sommet de cette série les bancs calcaires, formant dans le paysage un promontoire dominant la vallée, se distinguent par leur aspect pulvérisant, jaunâtres et riches en sables. Localement ils renferment de grandes concentrations de brachiopodes du genre *Rhynchonella*, qui se détachent facilement de la roche. En lame mince les bancs calcaires sont des biopelmicroparites wackestones à packstones (Pl. I, G) puis deviennent des biomicrites wackestones à packstones à quartz détritique silteux abondant (Pl. I, H). Les oxydes de fer corrodent parfois les bioclastes qui sont souvent recristallisés et de grandes tailles. Les pellets sont parsemés dans le liant.

Les foraminifères de ces niveaux se limitent, surtout, à quelques individus du groupe des agglutinés: *Flabellamina althoffi* Bartenstein, *Haplophragmium aequale* Roemer et *Haplophragmium subaequale* Myatliuk. Les individus des autres espèces reconnues dans les membres basal et intermédiaire se raréfient considérablement et présentent des coquilles très usées.

#### 4. ÉVOLUTION GÉODYNAMIQUE

La sédimentation marno-calcaire de l'Aaléno-Bajocien est entrecoupée de discontinuités à caractère local traduisant une instabilité tectonique déjà amorcée au Sinémurien (Sadki, 1992). Au cours du Toarcien-Bajocien, l'évolution éco-sédimentaire se traduit par une mégaséquence régressive: une transgression généralisée et une mer relativement profonde au Toarcien et une baisse eustatique progressive au cours de l'Aalénien-Bajocien (Dresnay, 1971a). Au sein de ce cycle régressif, nous avons:

- au cours de l'Aalénien-Bajocien inférieur, on assiste à un enfoncement continu du sillon et développement des environnements distaux puis passage progressif à

une sédimentation terrigène qui tend à combler le bassin qui s'enrichit en sédimentation carbonatée;

- au Bajocien supérieur, le remplissage du bassin continue, permettant l'installation d'une plate-forme où les dépôts à lentilles récifales (de type biohermes) se généralisent (calcaires corniches);
- au cours du Bajocien supérieur-Bathonien, de l'ensemble des données sédimentologiques et paléontologiques de la Formation de Tazigzaout, dans les différents secteurs étudiés, ressort une évolution régressive de type «*Shallowing-upward*» partant d'un milieu relativement profond vers un milieu de moins en moins profond et une oxygénation suffisante pour permettre une meilleure activité biologique (Ait Addi *et al.*, 1998; Ait Addi, 2000). L'évolution des groupements des foraminifères montre une séquence écologique (écoséquence) déjà installée auparavant: à la prolifération des cératobuliminidés dans les fonds argileux (Reolid *et al.*, 2008) souvent confinés des phases d'approfondissement du Bajocien inférieur se substitue le foisonnement des agglutinés dans les zones de faible bathymétrie à forts apports détritiques, réalisés dans les phases de comblement du Bajocien supérieur-Bathonien.

#### 5. BIOSTRATIGRAPHIE

La répartition stratigraphique des principales espèces de foraminifères reconnues dans les dépôts de l'Aaléno-Bathonien basal du Haut Atlas de la région de Rich-Gourrama et dans le Haut Atlas de Bou Dahar et Kerrando (Amhoud, 1999), montre qu'il est possible d'établir un découpage biostratigraphique et de proposer une biozotation locale (Fig. 10).

Au cours de cette période, les relais des différents d'espèces groupées ou isolées ont permis de reconnaître chez les petits foraminifères benthiques quatre biozones, composées chacune d'un certain nombre d'assemblages (sous-biozones). Ces biozones sont établies sur la base d'espèces à valeur biostratigraphique vérifiée dans d'autres travaux ultérieurs, d'Europe occidentale (Bartenstein & Brand, 1937; Norling, 1972; Bang, 1968a, b, 1971; Copestake & Johnson, 1989; Ruget & Nicollin, 1997; Velic, 2007; Canales & Henriques, 2013; Silva *et al.*, 2016) et surtout dans divers bassins marocains (Boutakiout, 1990; Boudchiche, 1994; El Kamar, 1997; Amhoud, 1999; Bejjaji *et al.*, 2009).

Cependant, avant d'exposer nos résultats, il convient d'énoncer que les limites des biozones reconnues ne correspondent pas toujours à des apparitions ou des disparitions d'une espèce ou d'une association d'espèces. On remarquera sur ce point que l'extension de certains taxons [*Lenticulina galeata* (biozone Aa1) et *Lenticulina quenstedti* (biozone Bj1)] peut dépasser les limites des biozones pour lesquelles elles ont été admises par Boutakiout (1990), Boudchiche (1994), El Kamar (1997)

Etages et sous-étages	Zones d'Ammonites (Cariou et Hantzpergue, 1997)	Rides sud-rifaines et Moyen-Atlas (Boutaklout, 1990)	Maroc nord-oriental (Boudchiche, 1994)	Haut-Atlas de Mideit et de Rich (El Kamar, 1997)	Haut-Atlas de Bou Dahar et Kerrando (Amhoud, 1999)	Haut-Atlas de Rich-Gourrama (Dans ce travail)
Bathonien inf.	Parkinsoni Garantiana Niortense Humphriésianum Propinquans Laeviuscula Discites	VII L. polymorpha mg. P. L. argonauta mg. L. A. P. Garantiana stellata Flabellammima althoffi	D C. ornithocephala + Potellifera nov. Sp. C. macilenta L. pseudoradiata mg. M. D4 D3 D2 Lingulina ? nov. Sp. Citharina clathrata Pseudonodosaria bajociana D1	A. caprolithiformis G. stellata+R. dreheri M. linearis+L. ligata L. polymorpha mg. P. L. argonauta F. althoffi L. jurass. Garantiana G. ampisind. Conoglobigerina atlantica Nodosaria pulchra	Ba'Z Ba' Ba L. polymorpha mg. P. Flabellammima althoffi L. argonauta mg. L. A. P. L. quenstedti mg. L.	B1 B2 B3 B4 B5 B6 L. quenstedti mg. L. E. mosquensis L. argonauta mg. L. A. P. L. subolata mg. L. A. M. L. d'orbigny mg. L. A. M. L. tenuistriata mg. F.
sup.	Concavum Bradfordensis Murchisonae Opalinum	C L. d'orbigny mg. L. A. M. Nodosaria pulchra Citharina colleti	AB A	AB A	Aa L. galeata mg. L. L. d'orbigny mg. L. A. M.	Aa1 L. galeata mg. L. L. d'orbigny mg. L. A. M.
inf.						

Fig. 10 : Biozonation des principales espèces des foraminifères benthiques de l'Aaléno-Bathonien inférieur dans les différents travaux du Maroc.

et Amhoud (1999) comme marqueurs biostratigraphiques. En revanche, d'autres taxons à brève extension verticale telle que *Lenticulina d'orbigny* (biozone Aa1), forment de bons indicateurs pour une biozonation locale. La comparaison des associations de foraminifères de l'Aaléno-Bathonien inférieur avec celles reconnues dans d'autres régions marocaines (rides sud-rifaines et régions voisines, Boutakiout, 1990; Maroc oriental, Boudchiche, 1994; Haut Atlas de Midelt et de Rich, El Kamar, 1997 et Haut Atlas de Bou Dahar et de Kerrando, Amhoud, 1999), souligne l'intérêt biostratigraphique de ce groupe microfaunique dans des corrélations à l'échelle des bassins marocains et même ceux plus loin, particulièrement d'Europe occidentale (Rugé & Niccollin, 1997).

Ainsi au cours de l'Aalénien-Bathonien inférieur, quatre associations sont admises :

• **Association de l'Aalénien « biozone Aa »** : à *Lenticulina galeata* (Terquem) mg *Lenticulina* et *Garantella ampasindavaensis* Espitalie et Sigal.

La majorité des formes de cette biozone sont des reliquats toarciens auxquelles s'ajoutent d'autres formes que nous rencontrerons tout au long du Bajocien. On peut retenir surtout l'apparition au sein des Agglutinés de *Proteonina difflugiformis* (Brady) et *Ammobaculites agglutinans* d'Orbigny, *Ammobaculites fontinensis* (Terquem). Au sein de la super-famille des Ceratobuliminae, d'*Epistomina mosquensis* Uhlig, de *Reinholdella dreheri* Bartenstein et de *Garantella ampasindavaensis* Espitalie et Sigal et au sein des lenticulines de l'espèce à côtes suturales épaisses et fortes : *Lenticulina galeata* (Terquem). Ces deux dernières espèces sont habituellement citées à partir du Bajocien inférieur. Il faut noter que la microfaune aalénienne n'est pas encore bien connue, car les faciès de cet étage sont généralement condensés ou lacuneux, ce qui n'est pas favorable à l'épanouissement des petits foraminifères benthiques de bassin (Amhoud, 1999);

• **Association du Bajocien inférieur « biozone Bj1 »** (zones à Discites-sommet du membre III de la formation d'Agoudim) : à *Garantella stellata* Kaptarenko et *Lenticulina quenstedti* (Gümbel).

La base de la zone à Discites est marquée par l'explosion de *Garantella stellata* Kaptarenko et de *Lenticulina quenstedti* (Gümbel) dont la valeur biostratigraphique est confirmée dans des régions géographiquement très éloignées : en Allemagne (Bartenstein & Brand, 1937), en Suisse (Wernli, 1971; Wernli & Septfontaine, 1971), en France (Delance & Rugé, 1989), en Angleterre (Copestake & Johnson, 1984; Morris & Coleman, 1989), dans différentes localités du Maroc (Boutakiout, 1990; Boudchiche, 1994; El Kamar, 1997; Amhoud, 1992 et 1999). Ces espèces sont accompagnées de *Lingulina nodosaria* Terquem, *Reophax horridus* (Schwager), *Textularia agglutinans* d'Orbigny, *Lenticulina cephalotes* (Reuss), *Dentalina bicornis* Terquem, qui s'associent aux formes héritées de l'Aalénien.

• **Association du Bajocien supérieur « biozone Bj2 »** (partie supérieure de la zone à Humphriesianum-zone à Niortense) : à *Lenticulina argonauta* Kopik, *Lenticulina*

*polymorpha* (Terquem) et *Flabellamina althoffi* Bartenstein.

La biozonation de cette partie du Bajocien s'appuie sur des espèces appartenant à des groupes éloignés : nodosariidés, cératobuliminidés et agglutinés. Elle est marquée, surtout, par l'apparition de *Lenticulina argonauta* Kopik qui se manifeste, essentiellement, par des tests enroulés en planispires dans la partie supérieure de la zone à Humphriesianum et par des tests en voie de déroulement au Bajocien supérieur : zone à Niortense et encore par de rares spécimens de *Lenticulina polymorpha* Terquem.

• **Association du Bajocien supérieur-Bathonien « biozone Bj2-Bt »**

L'une des particularités de cet assemblage est la réduction aussi bien du nombre d'espèces au sein des genres que des individus à l'intérieur des espèces. Sa base est marquée par la disparition totale de toutes les espèces des cératobuliminidés et le foisonnement des espèces reliquats des nodosariidés, surtout l'espèce *Lenticulina argonauta* Kopik, et des agglutinés à savoir : *Flabellamina althoffi* Bartenstein, *Halophragmium aequale* (Roemer) et *Halophragmium subaequale* (Myatliuk).

## 6. RENOUVELLEMENTS ET COUPURES MICROFAUNIQUES MAJEURS

Les espèces de foraminifères dans les différents bassins jurassiques marocains montrent des durées de vie variables et les relais microfauniques se traduisent par des variations progressives des populations ou par des renouvellements importants des groupements de foraminifères (Boutakiout, 1990; Boudchiche, 1994; El Kamar, 1997; Amhoud, 1999; Bejjaji, 2007). Au cours du Jurassique inférieur à moyen, dans le Haut Atlas centro-oriental, nous assistons à un changement important et progressif des espèces de foraminifères (Amhoud, 1999). Au Sinémurien et début du Pliensbachien, les plates-formes carbonatées sont pauvres en foraminifères et seuls les grands foraminifères à paroi arénacée et structure complexe s'y développent (Septfontaine, 1985). Au Pliensbachien, la microfaune s'enrichit en formes unisériées à coquilles massives et costulées : marginulines, lingulines et ichtyolaires (Amhoud, 1999). C'est à la base du Toarcien (zone à Polymorphum) que se produit le changement des foraminifères benthiques le plus spectaculaire du Jurassique inférieur. Ceci se traduit par l'extinction de la majorité des taxons à affinité plienschbachienne et l'apparition de nouvelles formes propres au Toarcien. Ce changement global au moins à l'échelle de l'Afrique du Nord (Sebane, 1984; Sebane *et al.*, 2007; Boutakiout, 1990; Boudchiche, 1994; El Kamar, 1997; Amhoud, 1999; Amhoud *et al.*, 2004; Bejjaji *et al.*, 2009; Reolid *et al.*, 2012a, b, 2013 et 2014) et de l'Europe occidentale (Copestake & Johnson, 1984; Rugé, 1982 et 1985; Riegraf, 1985; Rugé & Niccollin, 1997; Hess *et al.*, 2014; Rita *et al.*, 2016), n'est d'ail-

leurs pas exclusivement observé chez les seuls foraminifères. Ce bouleversement affecte aussi d'autres groupes éloignés, particulièrement les ostracodes (Bodergat *et al.*, 1985; Riegraf 1985; Soulimane *et al.*, 2017a, b) et les ammonites (Sadki, 1996). Cet événement est à mettre, probablement, en relation avec la grande phase de transgression du Toarcien inférieur (Rugé & Niccollin, 1997; Amhoud & Boutakiout, 1994; Amhoud, 1999) et du réchauffement global lié aux perturbations du cycle du Carbone (McArthur *et al.*, 2000; Hesselbo *et al.*, 2007; Suan *et al.*, 2011; García Joral *et al.*, 2011; Korte & Hesselbo, 2011; Reolid, 2014). Il souligne l'importance de la grande crise de passage Pliensbachien-Toarcien qui a englobé des faunes de milieux différents. Dans la répartition des principales espèces de foraminifères reconnues dans les dépôts de l'Aalénien-Bathonien, dans les trois secteurs d'études (Ayt Khojmane, Gourrama et Guelb Ettour; Figs 5-8) se dégagent aisément les coupures microfauniques suivantes :

- les premiers niveaux du membre II, de la formation d'Agoudim (zone à Murchisonae), sont surtout marqués par l'apparition de nouvelles formes qui domineront jusqu'au Bajocien supérieur: *Garantella ampasindavaensis* Espitalie & Sigal qui se voit concurrencée, dans les niveaux supérieurs du Bajocien par les autres espèces des cératobuliminidés (*Epistommina mosquensis* Uhlig et *Reihnoldella dreheri* Bartenstein) et par *Lenticulina galeata* (Terquem) qui forme l'ébauche du spectre des lenticulines ornées typiques du Bajocien (Amhoud, 1999). Celles-ci s'ajouteront aux taxons hérités des niveaux toarciens et à grande extension verticale: *Ammobaculites agglutinans* (d'Orbigny), *Ammobaculites fontinensis* (Terquem), *Dentalina gumbeli* Schawger, *Lenticulina munsteri* (Roemer), *Lenticulina subalata* (Reuss), *Lenticulina deslongchampsii* (Terquem);
- la limite Aalénien-Bajocien (passage zone à Concavum à zone à Discites) est surtout marquée par la disparition de *Lenticulina d'orbigny* (Roemer) et de *Garantella* sp. A (*Garantella praestellata* Amhoud 1999, espèce non valide, car non publiée au sens du code de nomenclature zoologique) et par l'apparition de *Lenticulina quenstedti* (Gümbel) qui forme avec *Garantella stellata* Kaptarenko d'excellents repères du Bajocien inférieur (Amhoud, 1999);
- le passage du membre II au membre III de la formation d'Agoudim, se manifeste par la plus importante coupure du Bajocien. Si aucune forme précédente ne disparaît, on note :
  - \* l'apparition de nouvelles formes qui marquent le passage Bajocien inférieur à supérieur; il s'agit de *Lenticulina argonauta* Kopik, *Haplophragmium aequale* (Roemer), *Haplophragmium subaequale* (Myatliuk), *Flabellamina althoffi* Bartenstein. Celles-ci sont rejointes dans les niveaux sous-jacents aux calcaires corniches de *Lenticulina polymorpha* Terquem, considérée comme un excellent repère

du Bajocien supérieur dans les marno-calcaires des sillons atlasiques (Yacoubi, 1984; Amhoud, 1992, 1999; El Kamar, 1997);

- \* l'explosion des petites formes des cératobuliminidés (genres *Epistomina* et *Reihnoldella*) au détriment de l'espèce *Garantella ampasindavaensis* Espitalie & Sigal, qui voit ses pourcentages se réduire considérablement;
- \* l'augmentation des fréquences relatives des agglutinés;
- \* l'augmentation sensible des nodosariidés à test rectiligne;
- la dernière coupure se manifeste au passage de la Formation d'Agoudim à celle de Tazigzaout. Elle se caractérise par :
  - \* la disparition totale des cératobuliminidés, pourtant dominants dans tous les niveaux de la formation d'Agoudim;
  - \* le foisonnement des agglutinés dont les pourcentages avoisinent, pour la première fois au cours du Jurassique moyen, les 75 % de la microfaune et des lenticulines en voie de déroulement. Ces deux taxons développent des coquilles de grandes tailles qui les démarquent des mêmes individus des niveaux précédents.

## 7. GROUPEMENTS DES FORAMINIFÈRES ET IMPLICATIONS PALÉOÉCOLOGIQUES

La distribution stratigraphique des principales espèces et les fréquences relatives des différents groupes de foraminifères benthiques du Haut Atlas de Rich-Gourrama montrent que ses microorganismes enregistrent bien les variations des conditions du milieu avec beaucoup plus de sensibilité que les sédiments. Ces fluctuations (variation du niveau marin, changements des corps sédimentaires et modifications des principaux paramètres écologiques : oxygénation, température et confinement) induisent des perturbations des biotopes influençant l'écologie et la morphologie des foraminifères. L'analyse quantitative et qualitative des populations successives montre qu'elles s'organisent en écoséquences intercalées par des discontinuités écoséquentielles difficiles à appréhender sur les séries lithologiques, surtout lorsqu'elles sont homogènes (Amhoud, 1999; Amhoud *et al.*, 2004). Cette analyse met en relief aussi le comportement et les stratégies adoptés par les différents groupes et morphogroupes des foraminifères pour s'adapter aux nouvelles conditions du milieu.

En effet, les études des morphogroupes réalisées sur les assemblages des foraminifères actuels démontrent que leur distribution est tributaire des conditions environnementales (bathymétrie, teneurs en oxygène, taux de carbone organique, pH, température des eaux, salinité). Elles montrent aussi que la forme du test, le mode d'enroulement, le type d'ouverture, la présence ou l'absence

des micropores et la surface externe du test reflètent des modes de vie et des stratégies d'adaptation diverses (Severin, 1983; Corliss, 1985; Corliss & Chen, 1988; Bruce *et al.*, 1990; Douglass, 1979; Corliss & Emerson, 1990; Tyzka, 1994; Reolid *et al.*, 2008, 2012b et 2014; Bejjaji *et al.*, 2009; Rita *et al.*, 2016; Nikitenko *et al.*, 2013). L'application des modèles actuels à des assemblages fossiles, particulièrement du Jurassique à l'Holocène est encourageante (Bernhard, 1986; Nagy, 1992; Tyzka, 1994); toutefois, elle suppose de prendre en considération d'éventuels changements des accumulations *post-mortem*.

Dans ce paragraphe, nous retracerons les plus importantes variations quantitatives et qualitatives des peuplements des foraminifères benthiques de notre secteur et de façon succincte des secteurs avoisinants au cours du Jurassique, dans un canevas dicté par les principales étapes tectono-sédimentaires de cette partie du sillon haut atlasique au cours du Jurassique (Amhoud *et al.*, 2004). Au Sinémurien, les dépôts de calcaires et de dolomies d'environnements des plates-formes carbonatées dans l'ensemble du sillon atlasique sont défavorables à l'épanouissement des foraminifères benthiques et seules les formes à paroi arénacée et structure complexe s'y développent (Septfontaine, 1985; Amhoud, 1999). Au Pliensbachien, la dislocation progressive de la plateforme et l'approfondissement du milieu contribuent à la diversification des nodosariidés à test unisériel (genres *Nodosaria*, *Dentalina* et *Lingulina*). Le développement des polymorphinidés (genre *Eoguttulina*) serait en rela-

tion avec une légère tendance au confinement (Rugé, 1982; Boutakiout, 1990; Amhoud & Boutakiout, 1994; Boudchiche, 1994; El Kamar, 1997), marquée également par le nanisme des ammonites et des ostracodes et par l'abondance des particules pyriteuses et ferrugineuses dans les résidus des lavages (Amhoud, 1992 et 1999). Au cours du Toarcien, le passage à des conditions d'environnements franchement marins et la généralisation des faciès argileux, dans le sillon haut atlasique coïncident avec la grande phase de transgression du Toarcien basal (Hallam, 1978; Haq *et al.*, 1987) et avec l'épisode anoxique global (Jenkyns, 1988; e.g. Reolid *et al.*, 2018). Ce passage crée de nouveaux biotopes et la majorité des formes préexistantes sont supplantées par des espèces nouvelles; la diversité générique et spécifique est alors maximale et de nouvelles expressions du test et de nouveaux genres apparaissent (*Garantella*, *Spirillina*, *Ophthalmidium*, *Citharina*) (Amhoud, 1999). La période aaléno-bajocien inférieur, caractérisée par une tranche d'eau toujours maximale des temps jurassiques, voit la prédominance des cératobuliminidés à petit test trochospiralé et concurrencés par les formes planispiralées du genre *Lenticulina* et la diversité des formes à test fin et rectiligne des nodosariidés. Au cours du Bajocien inférieur-supérieur, et en parallèle au développement de la sédimentation carbonatée de plus en plus détritique et riche en faunes benthiques de grandes tailles, conséquence d'une bathymétrie décroissante, le schéma des fréquences relatives des foraminifères change (Fig. 11):

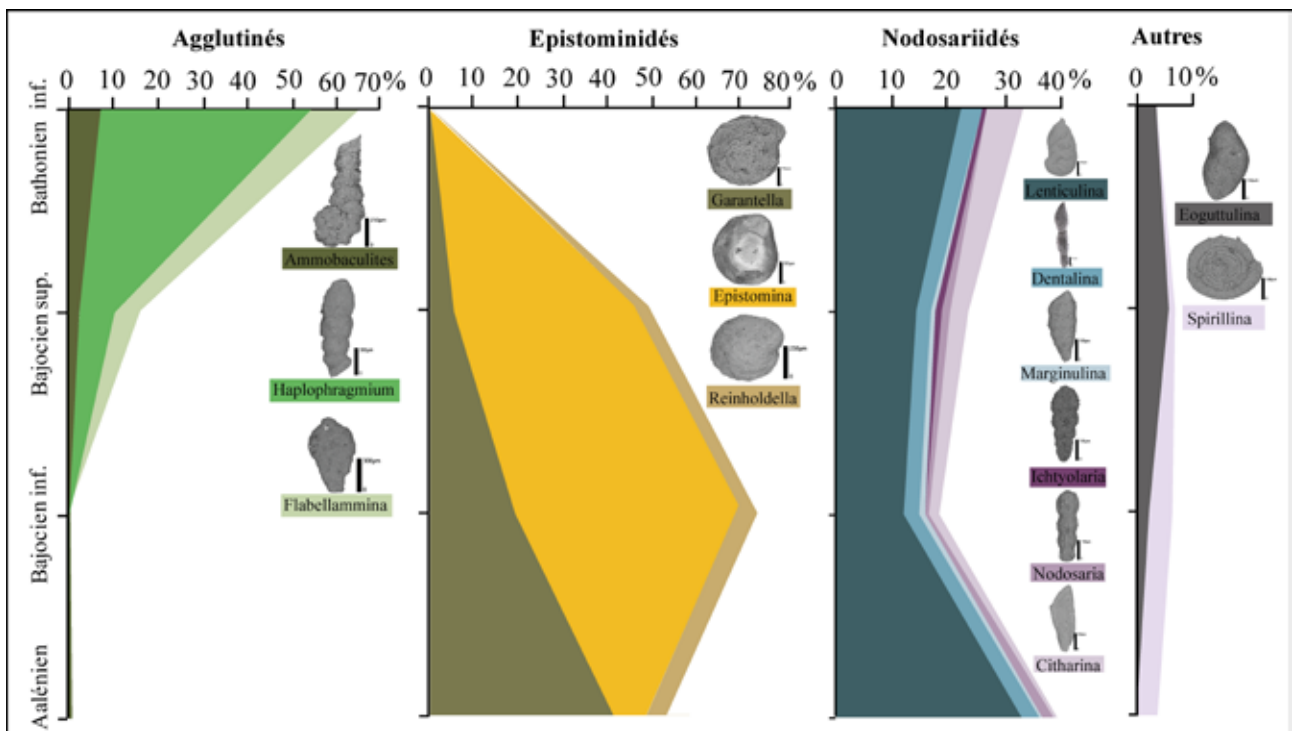


Fig. 11 : Distribution des principaux genres de foraminifères benthiques de l'Aaléno-Bathonien inférieur du Haut-Atlas de Rich-Gourrama.



- la diversité générique et spécifique diminue ;
- les agglutinés et les nodosariidés à test en voie de déroulement prolifèrent et se diversifient progressivement alors que le pourcentage des cératobuliminidés et des nodosariidés enroulés décline, conséquence de la diminution de la bathymétrie ;
- au sein des cératobuliminidés, une compétitivité écologique est évidente. Si dans les faciès profonds du Bajocien inférieur le genre *Garantella* domine et semble préférer les zones des ombilics confinés, il est en revanche concurrencé par les genres *Epistommina* et *Reinholdella*, relativement à petite coquille, dans les faciès plutôt carbonatés du sommet de la Formation d'Agoudim. La prolifération de ces espèces dans les faciès marneux du Bajocien témoigne en effet de leur préférence à des milieux peu profonds dont le degré de confinement est faible (Boutakiout, 1990) ;

Au Bajocien supérieur-Bathonien, dans tous les faciès de la Formation de Tazigzaout marquée par une sédimentation de plus en plus silico-clastique de fin de comblement du bassin, le schéma des fréquences relatives des foraminifères est totalement bouleversé. Les cératobuliminidés, jusqu'alors dominants, dans les fonds vaseux et anaérobiques, disparaissent totalement alors que celui des agglutinés à paroi simple augmente considérablement. Ce type de changement microfaunique a été interprété pendant le Jurassique comme lié à des faciès plus proximaux et peu profonds (e.g. Olóriz *et al.*, 2003). Les représentants de ce groupe développent des tests de grande taille et semblent parfaitement en harmonie avec ces nouvelles conditions marquées par une réduction de profondeur, une meilleure oxygénation des eaux et une abondance des matériaux silico-clastiques indispensables à la fabrication des tests des foraminifères agglutinés.

Dans cette partie du Haut Atlas, les observations des rapports entre les milieux de vie et les peuplements des foraminifères, au cours de l'Aaléno-Bathonien, nous ont permis de suivre les changements quantitatifs et qualitatifs des différents morphogroupes et espèces. Le passage de milieux profonds à faciès argileux et à régime de sous-oxygénation de l'Aalénien-Bajocien inférieur vers des milieux moins profonds et plus agités (eaux bien oxygénées) à sédimentation carbonatée de plus en plus silico-clastique du Bajocien supérieur-Bathonien, enregistre chez les foraminifères diverses techniques d'adaptation :

- dans les milieux profonds, les formes à test allongé et fragile (genres *Dentalina*, *Lingulina*, *Nodosaria*) mènent un mode de vie essentiellement endofaune (Tyzka, 1994 ; e.g. Reolid *et al.*, 2013). Leur petite taille et leur test allongé leur permettent une absorption optimale et une consommation réduite d'oxygène (Boudchiche & Ruget, 1993 ; Amhoud, 1999) ;
- l'abondance dans ces milieux des cératobuliminidés à succession de loges en trochospire et des lenticulines à coquille planispiralée, biconvexe et dépourvue de perforations qui renforcent la prise d'oxygène (Leutenegger & Hansen, 1979), peut être expliquée par

leur pouvoir à réduire le volume du cytoplasme (par développement du bouton ombilical et pincement des bordures). Selon les observations de Corliss & Chen (1988) sur des lenticulines actuelles, la forme biconvexe leur est avantageuse, d'une part pour une orientation horizontale et une bonne stabilité même dans des sédiments tendres (vie épibenthique) et d'autre part sa périphérie aiguë (carénée) lui permet de s'enfoncer dans les sédiments (vie endobenthique) (Tyzka, 1994). Cette biconvexité est aussi un atout supplémentaire pour des migrations verticales, en cas de fluctuations des paramètres physico-chimiques du milieu, surtout la limite redox (Tyzka, 1994 ; Reolid *et al.*, 2008). De tels avantages de forme et de comportement sont vraisemblablement, en partie, à l'origine cosmopolite de ce type de foraminifères (Amhoud, 1999) ;

- si dans l'ensemble les cératobuliminidés sont reconnus pour proliférer dans les fonds vaseux, isolés et confinés de phase d'approfondissement, dans le détail, on note toujours la prédominance d'un seul genre. Dans les faciès profonds et anoxiques, c'est le genre *Garantella* qui foisonne et est relayé, respectivement, dans les faciès peu profonds et relativement peu confinés, par les genres *Epistommina* et *Reinholdella* ;
- la tendance au déroulement des lenticulines dans les prismes de haut niveau marin (Cubaynes *et al.*, 1989) s'explique par les conditions respiratoires momentanément difficiles et auxquels les individus remédient par l'augmentation de la surface d'échange d'oxygène (Boudchiche & Ruget, 1993). Le développement de l'ornementation chez ces espèces et à cet intervalle de temps du spectre *galea-quensdiedti-argonauta-polyomorpha* est un signe d'une eau chaude et sursaturée en CaCO<sub>3</sub> dans un milieu peu profond et hydrodynamique ;
- si la prolifération des agglutinés à paroi simple est conditionnée par les apports détritiques, indispensables pour la constitution de leur test, leur diversité et leur changement de taille ne sont remarquables que dans des conditions de faibles bathymétries, réalisées dans les phases de fin de comblement.

## 8. CONCLUSION

L'analyse micropaléontologique des dépôts de l'Aalénien-Bathonien du Haut Atlas entre Rich et le SE de Gourrama nous a permis de suivre l'impact des changements des caractéristiques du milieu de sédimentation sur les peuplements des foraminifères. Si l'évolution géodynamique de cette région est marquée au cours du Sinémurien par une plate-forme en voie de dislocation suivie d'une phase d'enfoncement progressive au Toarcien (Amhoud, 1999 ; Elmi *et al.*, 2004), la période aaléno-bathonienne se caractérise par un comblement progressif du bassin.

Sur le plan biostratigraphique, la distribution des principales espèces de foraminifères nous a permis :

- de reconnaître quatre associations de foraminifères

(Fig. 10) similaires à celles déterminées dans d'autres bassins marocains. Les deux premières associations (Aalénien puis du Bajocien inférieur) sont dominées par les formes planispiralées (genre *Lenticulina*) ou trochospiralées (genre *Garantella*); avec respectivement la prédominance des espèces *Lenticulina galeata* et *Garantella ampasindavaensis* dans la première association et *Lenticulina quenstedti* et *Garantella stallata* dans la seconde. La troisième association (Bajocien supérieur) est marquée par l'explosion des formes à test costulé et déroulé du genre *Lenticulina* et des agglutinés. La dernière association (Bajocien supérieur-Bathonien) se démarque par la forte réduction du nombre des espèces et le foisonnement des agglutinés;

- de relever deux changements microfauniques majeurs (Figs 5-8): le premier au passage Aalénien-Bajocien inférieur et le second marquant la limite Bajocien inférieur-Bajocien supérieur. Ils sont marqués par des disparitions et/ou apparitions d'espèces ou par des variations notables dans les fréquences relatives des groupements.

D'un point de vue paléoécologique, les successions des peuplements traduisent une écoséquence en parfait accord avec l'évolution sédimentaire. Dans les fonds vaseux et calmes de l'Aalénien-Bajocien inférieur prédominent les foraminifères à tests fins et unisériés (genres *Dentalina*, *Nodosaria*, *Marginulina* et *Citharina*), planispiralés et trochospiralés. Dans les milieux moins profonds et plus ou moins agités du Bajocien supérieur-Bathonien, nous assistons surtout à la prolifération des agglutinés et aussi des formes déroulées ou en voie de déroulement du genre *Lenticulina*. Les modifications des paléomilieux sont alors fidèlement enregistrées par ces organismes, qui répondent à ces changements par diverses stratégies d'adaptation: assemblages oligo ou monospécifiques, migrations et/ou modifications morphologiques.

## REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier la société Géomine (Maroc) pour son appui logistique aussi bien lors des travaux sur le terrain que pendant les analyses au laboratoire. Leurs remerciements s'adressent également au Dr André Piuze, Revue de Paléobiologie, ainsi qu'au Dr Matias Reolid (Université de Jaén) et à l'examineur

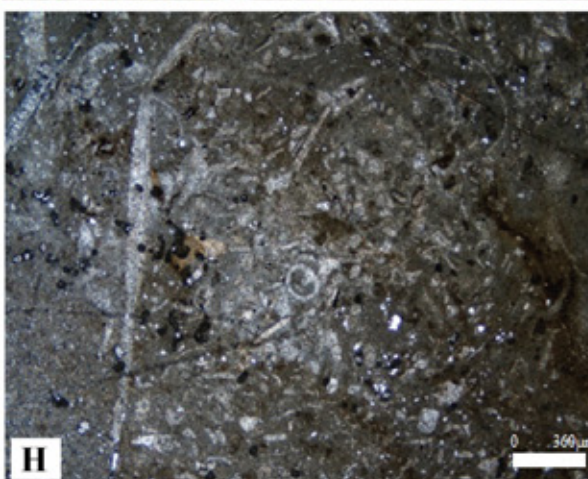
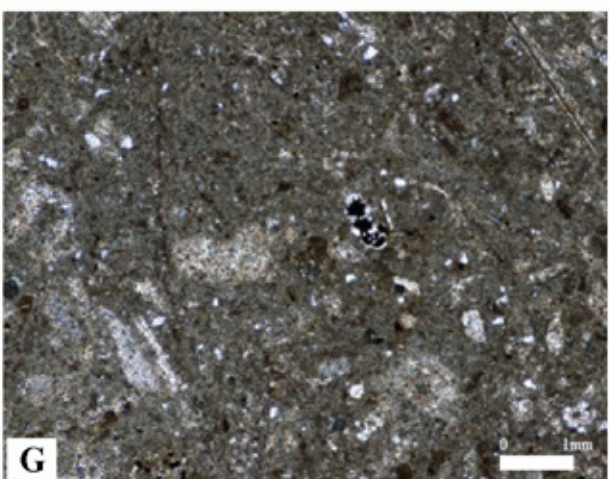
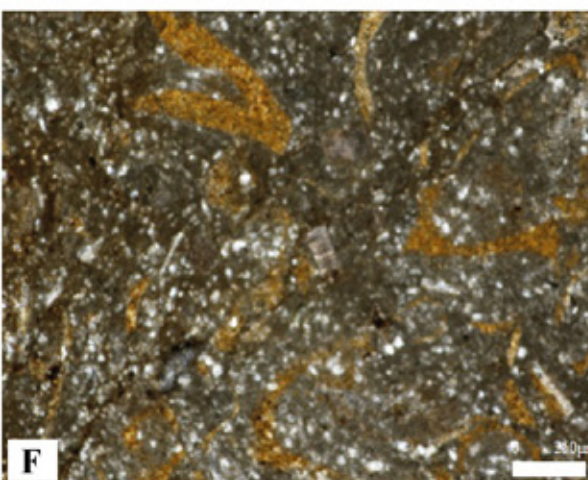
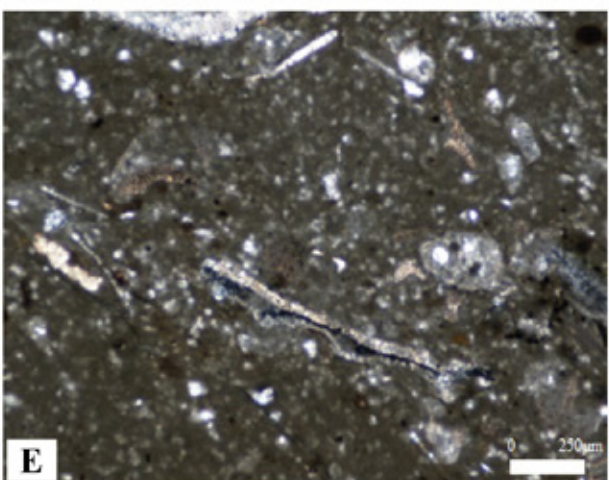
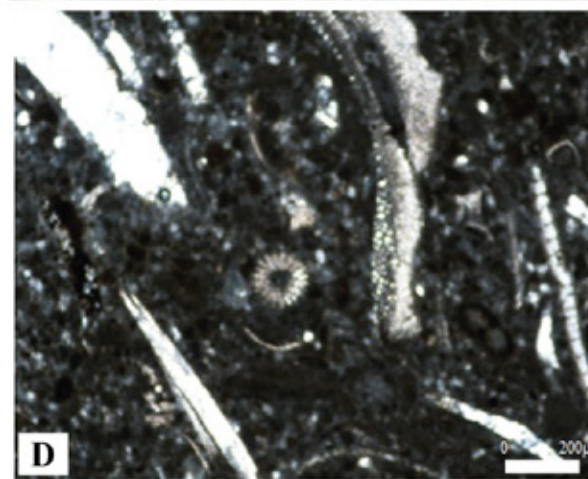
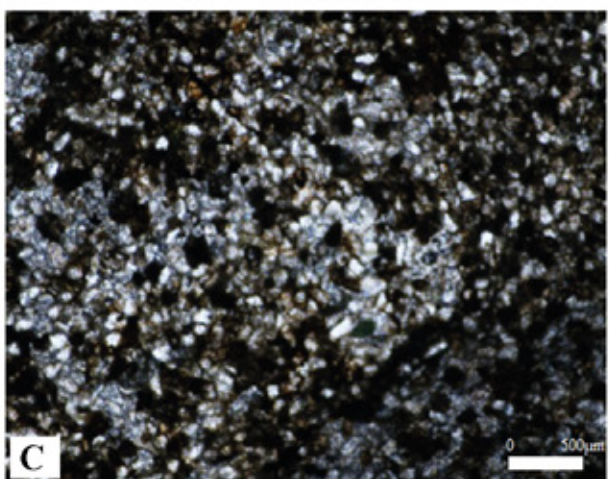
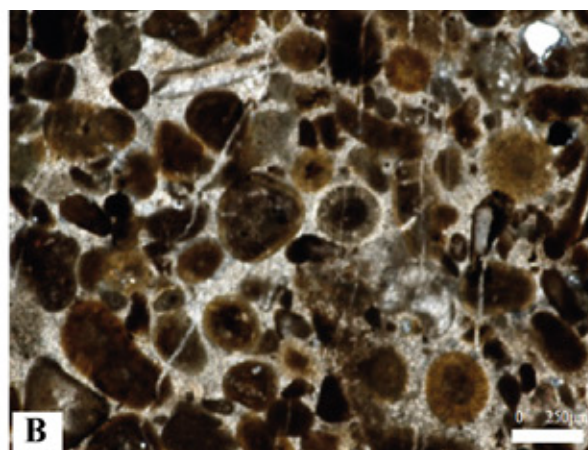
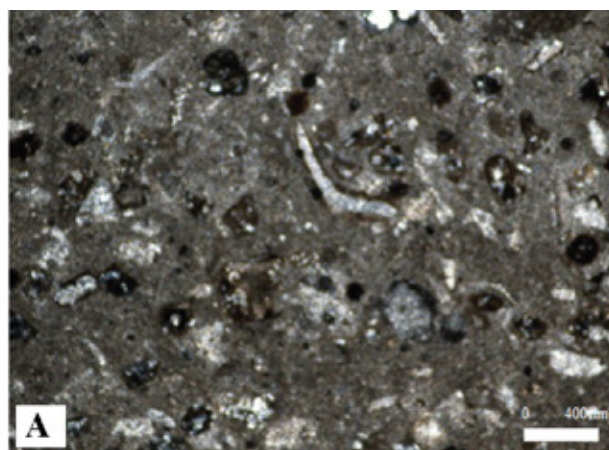
anonyme pour leurs remarques et suggestions constructives qui ont largement contribué à l'amélioration de la version originelle du manuscrit.

## RÉFÉRENCES

- Ait Addi A. 1994. *Sédimentologie, biostratigraphie et diagenèse carbonatée des faciès du Lias supérieur-Dogger du Haut Atlas d'Errachidia (Maroc)*. Thèse de Doctorat, Université de Tunis II, Fac. Sc., 211 pp.
- Ait Addi A. 1998. Nouvelles données sédimentologiques et géodynamiques sur les faciès de l'Aalénien-Bajocien inférieur du Haut Atlas marocain (nord d'Errachidia). *Comptes Rendus de l'Académie des sciences* (Paris), 326: 193-200.
- Ait Addi A. 2000. Les séries du Dogger moyen du Haut Atlas au nord d'Errachidia (Maroc): Lithostratigraphie et sédimentologie d'une nouvelle formation: la formation Tazigzaout. *Géologie Méditerranéenne*, 27(1/2): 57-69.
- Ait Addi A. 2002. *Les séries du Dogger du Haut Atlas marocain (Nord d'Errachidia/Boudenib): Lithostratigraphie, sédimentologie, stratigraphie séquentielle, cyclostratigraphie et évolution géodynamique*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Ibn Tofail Kénitra, Maroc, 242 pp., 10 pl. h. t, coupes en annexe (inédit).
- Ait Addi A. 2006. The Dogger reef horizons of Moroccan Central High Atlas: new data on their development. *Journal of African Earth Sciences*, 45: 162-172.
- Ait Addi A. 2008. Storm deposits: evidence of event sedimentation in the Bajocian of the Central High Atlas, Morocco. *Volumina Jurassica*, Warsaw, Pologne, 6: 23-32.
- Ait Addi A. 2015. Builders and taphonomic processes of Bajocian coral patch reefs in the Moroccan Central High Atlas. *Arabian Journal of Geosciences*, 8: 8583-8600.
- Ait Addi A. & Chafiki D. 2013. Sedimentary evolution and palaeogeography of mid-Jurassic deposits of the Central High Atlas, Morocco. *Journal of African Earth Sciences*, 84: 54-69.
- Ait Addi A., El Hanbali M. & Bobier C. 1998. Les bioconstructions du Bajocien-Bathonien pp. du Haut Atlas marocain (nord d'Errachidia-Boudenib): Sédimentogenèse et contexte paléogéographique. *Géologie Méditerranéenne*, 25(1): 131-144.
- Almeras Y., Elmi S., Mekahli L., Ouali-Mehadjji A., Sadki D. & Tlili M. 1994. Biostratigraphie des Brachiopodes du Jurassique moyen dans le domaine atlasique (Maroc, Algérie). Contraintes environnementales et relation avec l'évolution verticale des peuplements d'Ammonites. In: 3rd International Meeting on Aalenian and Bajocian Stratigraphy, Marrakesh. In: Cresta S. & Pavia G. (eds). *Miscellanea del Servizio Geologico Nazionale*, 5: 219-214.

## Planche I

Photographies des lames minces des formations d'Agoudim et de Tazigzaout dans la localité de Bou Kendill-Tazigzaout. **A.** Biomicrite mudstone à wackstone riche en oxydes de fer; **B.** Calcaire de type oobiomicrosparite packstone à grainstone; **C.** Biomicrosparite de texture packstone, à pellets et rares oolithes et bioclastes; **D.** Calcaire de type biomicrite à pelbiomicrite packstone; **E.** Biomicrite à bioclastes de texture wackstone à bioclastes hétéromètres recristallisés; **F.** Calcaire biomicritique à quartz détritique de type wackstone; **G.** Biopelmicrosparite de texture packstone à grainstone à éléments indiquant un milieu très agité sous une faible tranche d'eau; **H.** Biomicrite à bioclastes de texture wackstone à packstone.

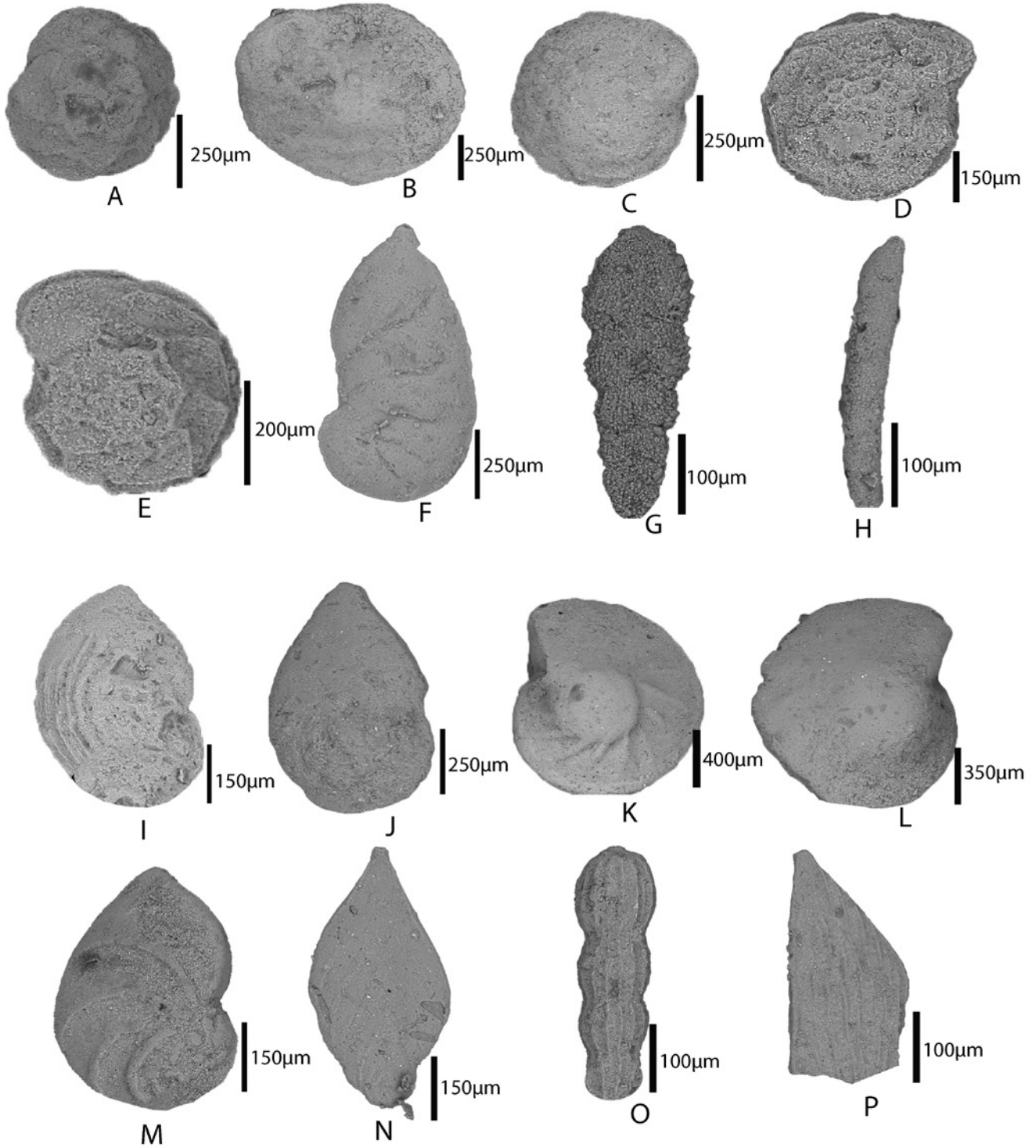


- Amhoud H. 1992. *Etude micropaléontologique (foraminifères et ostracodes) et analyse sédimentologique du Bajocien de la région de Rich-Gourrama (Haut-Atlas central, Maroc)*. Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle, Université Med V, Rabat, 165 pp., 38 fig., 9 pl. (inédit).
- Amhoud H. 1999. *Sinemérien-Bajocien du Haut-Atlas centro-oriental de Bou-Dahar et de Kerrando (Maroc)*. Lithostratigraphie, micropaléontologie, biostratigraphie et paléogéographie. Thèse de Doctorat d'Etat, Université My Ismail, Meknès, 268 pp., 78 fig., 25 pl. (inédit).
- Amhoud H. & Boutakiout M. 1994. Les foraminifères de l'Aalénien-Bajocien inférieur dans la localité Rich-Gourrama (Haut Atlas central, Maroc). In: 3rd International Meeting on Aalenian and Bajocian Stratigraphy, Marrakesh. In: Cresta S. & Pavia G. (eds). *Miscellanea del Servizio Geologico Nazionale de Roma*, 5: 243-248.
- Amhoud H., Elmi S., Boutakiout M. & Benshili K. 2004. Le Sinémurien du Haut-Atlas de Bou Dahar (Haut-Atlas oriental, Maroc): Aspects biosédimentaires et tectono-eustatiques. *Proceedings of the first colloquium of the Jurassic of Morocco*. Moroccan Association of Petroleum Geologists, Mémoire I, 2003-2004: 53-59.
- Bang I. 1968a. Biostratigrafisk analyse af kerneprøver fra Øresundsboringerne sommeren 1964 på grundlag af foraminiferer. In: Larsen G. et al. (eds), Øresund; Helsingør-Hälsingborg Linien; Geologisk rapport. *Danmarks Geologiske Undersøgelse Rapport*, 1: 63-71.
- Bang I. 1968b. Biostratigraphical investigations of the pre-Quaternary in the Øresund boreholes mainly on the basis of foraminifera. In: Larsen G. et al. (eds), Øresund; Helsingør-Hälsingborg Linien; *Geologisk rapport. Danmarks Geologiske Undersøgelse Rapport*, 1: 86-88.
- Bang I. 1971. Jura aflejringerne i Rønde nr. 1 (2103-2614 m), biostratigrafi på grundlag af foraminiferer. In: Rasmussen L.B. (ed.): Dybdelingen Rønde nr. 1 på Djursland. *Danmarks Geologiske Undersøgelse III. Række* 39: 74-80.
- Bartenstein H. & Brand E. 1937. Mikropalaontologische Untersuchungen zur Stratigraphie des Nordwest Deutschen Lias und Doggers. *Abh. Senckend*, Frankfurt, 439: 1-244.
- Bassoulet J. P., Elmi S., Poisson A., Cecca F., Bellion Y., Guiraud R. & Baudin F. 1993. Middle Toarcian (184-182 Ma), in Atlas Tethys paleoenvironmental maps, edited by J. Dercourt et al., pp. 63-80, BECIP-FRANLAB, Rueilmalmaison, France.
- Bejjaji Z. 2007. *Biostratigraphie, paléoenvironnements et paléoécologie des foraminifères toarciens du Moyen-Atlas (Maroc)*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Med V, Rabat, 238 pp.
- Bejjaji Z., Boutakiout M., Chakiri S. & Ezzayani J. 2009. Stratégies adaptatives des foraminifères benthiques toarciens du Moyen Atlas (Maroc): implications paléoécologiques. *Pangea*, 45/46: 24-29.
- Bernhard J.M. 1986. Characteristic assemblages and morphologies of benthic foraminifera from anoxic, organic-rich deposits: Jurassic through Holocene. *Journal of Foraminiferal Research, Kansas*, 16(3): 207-215.
- Bernasconi R. 1983. *Géologie du Haut-Atlas de Rich (Maroc)*. Thèse de Doctorat, Université de Neuchâtel, Suisse. 107 pp. (inédit).
- Bodergat A. M., Donze P., Nicollin J.P. & Ruget C. 1985. Répartition stratigraphique des microfaunes toarciennes (Foraminifères et Ostracodes) en bordure du Bassin de Paris. *Les cahiers de l'Institut Catholique de Lyon*, 14: 103-123.
- Boudchiche L. 1994. *Le Lias-Dogger des Béni-Snassen orientaux (Maroc nord-oriental): Succession stratigraphique, évolution tectono-sédimentaire et micropaléontologique*. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Med. 1<sup>er</sup>, Oujda, 253 pp, 92 fig., 13 pl. (inédit).
- Boudchiche L. & Ruget C. 1993. Une réponse morphologique à un problème écologique: l'exemple des foraminifères du Toarcien inférieur de Beni Snassen (Maroc nord oriental). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 316: 815-821.
- Boutakiout M. 1990. Les foraminifères du Jurassique des Rides sud-rifaines et des régions voisines (Maroc). *Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon*, 112: 217 pp., 50 fig., 15 pl.
- Brechbühler Y. 1984. *Etude structurale et géologique du Haut Atlas calcaire entre le Jbel Ayachi et Rich (Maroc)*. Thèse Doctorat, Université Neuchâtel, Suisse, 128 pp. (inédit). 8: 155-165.
- Bruce H., Corliss B.H. & Fois E. 1990. Mophotype analysis of deep-sea benthic foraminifera from the Northwest Gulf of Mexico. *Palaos*, 5: 589-605.
- Canales M.L. & Henriques M.H. 2013. Foraminiferal assemblages from the Bajocian Global Stratotype Section and Point (Cape Mondego, Portugal). *Journal of Foraminiferal Research*, 43(2): 182-206.
- Cariou E. & Hantzpergue P. (Ed.) 1997. Biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen. *Bulletin du Centre des Recherches Elf Aquitaine Exploration et Production*, Mémoire 17: 422 pp.
- Choubert G. 1956. Carte Géologique de la terminaison occidentale de l'Anti-Atlas: Région de Goulimine et du Draa inférieur. *Notes et Mémoires Service géologique (Maroc)*, Rabat, Maroc.

---

 Planche II

Photos au MEB (Microscope Electronique à Balayage) des principales espèces de foraminifères benthiques. **A.** *Garantella* sp. A, Aalénien (BK1); **B.** *Garantella ampasindavaensis* Esptalie & Sigal, Bajocien inférieur, (AF3); **C.** *Reinholdella dreheri* (Bartenstein), Bajocien inférieur (AF9); **D.** *Epistomina mosquensis* Uhlig, Bajocien supérieur, (AF11); **E.** *Garantella stellata* Kaptarenko, Bajocien supérieur (AF11); **F.** *Lenticulina chicheryi* (Payard), Aalénien, (AB1); **G.** *Ichtyolaria lignaria* (Terquem), Bajocien supérieur-Bathonien, (AA2); **H.** *Dentalina gümbeli* Schwager, Bajocien supérieur (BK13); **I.** *Lenticulina d'Orbigny* (Roemer), Aalénien, (BK1); **J.** *Lenticulina varians* (Bornemann), Bajocien inférieur (AF2); **K.** *Lenticulina subalata* (Reuss), Bajocien inférieur (AF5); **L.** *Lenticulina münsteri* (Roemer), Bajocien inférieur (AF5); **M.** *Lenticulina galeata* (Terquem), Aalénien, (BK2); **N.** *Lenticulina deslongchampsi* (Terquem), Bajocien inférieur (BK5); **O.** *Nodosaria fontinensis* (Terquem), Bajocien inférieur, (AB5); **P.** *Citharina colliezi* (Terquem), Bajocien supérieur (AB5).

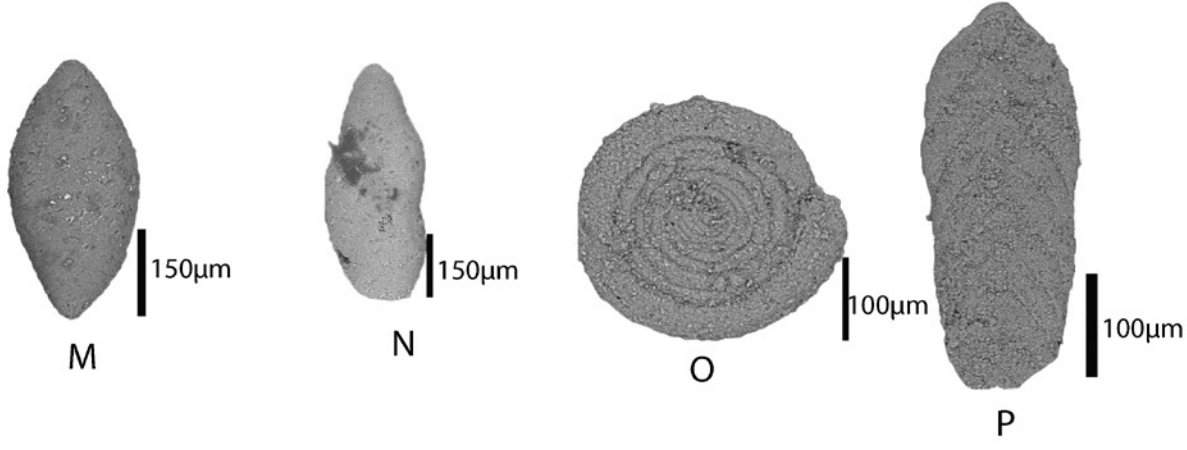
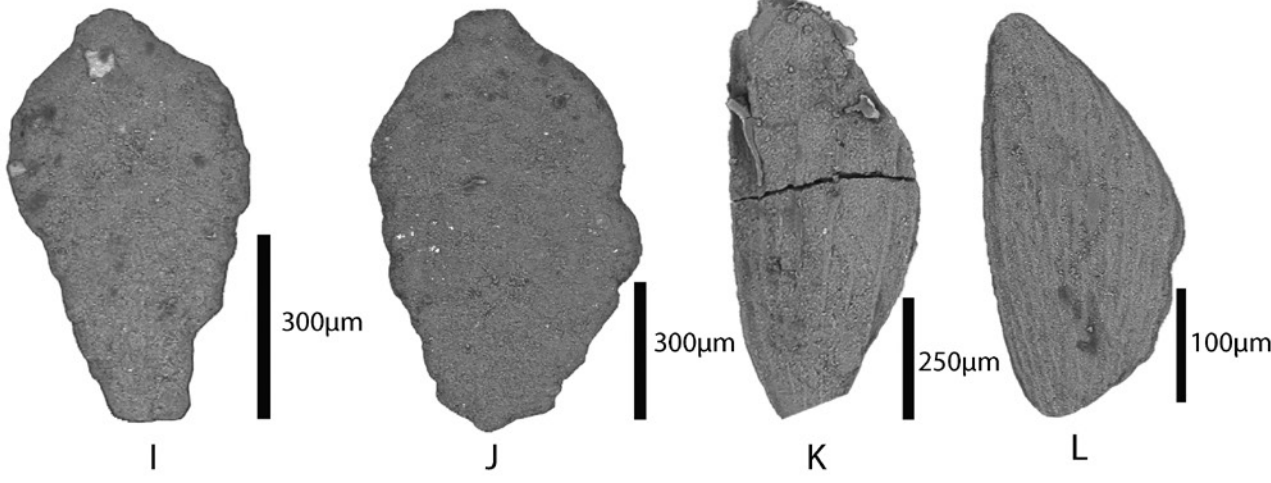
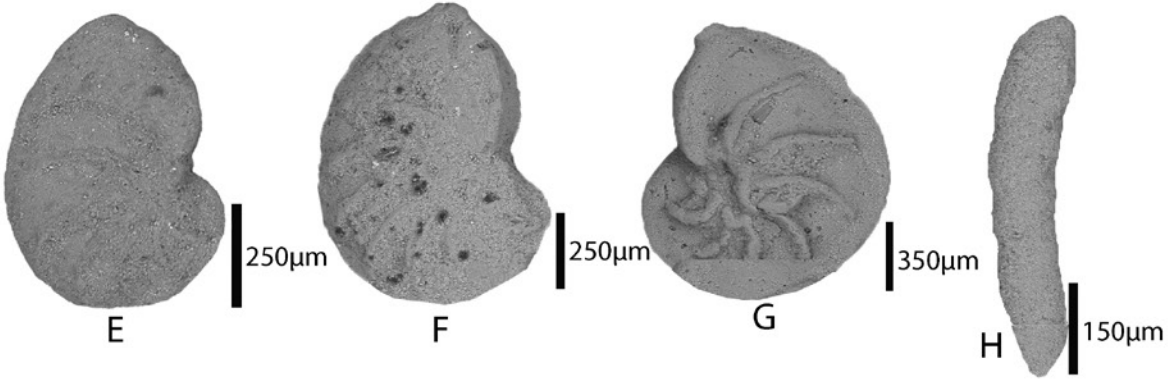
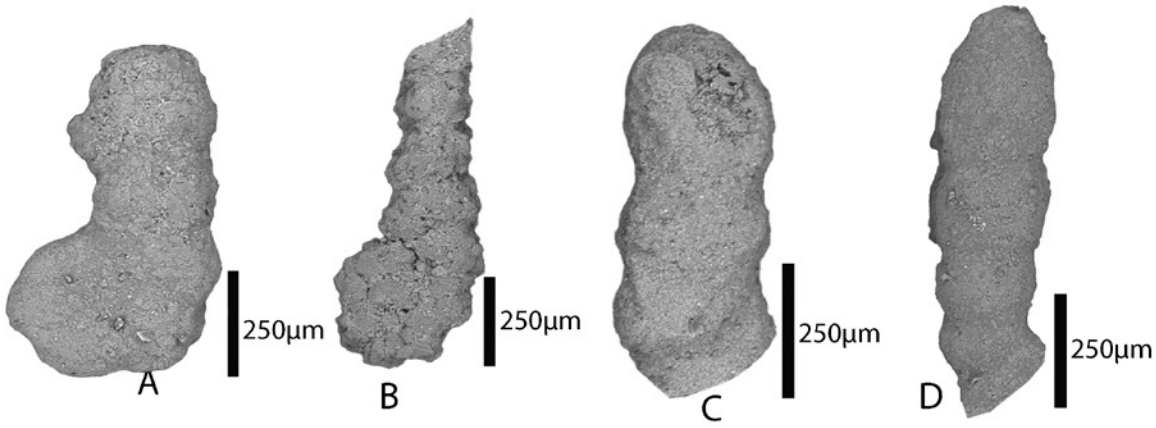


- Choubert G., Dubar G. & Hindermeier J. 1956. Carte géologique du Haut Atlas au nord d'Errachidia (Ksar es Souk) feuille Boudenib et Rich au 1/200 000. *Notes et Mémoires Service géologique (Maroc)*, 81.
- Choubert G. & Faure-Muret A. 1960-1962. Evolution du domaine atlasique marocain depuis les temps paléozoïques. Livre à la Mémoire du Professeur P. Fallot, *Mémoire hors série, Société géologique de France*, 1: 447-527.
- Colo G. 1961-64. Contribution à l'étude du Jurassique du Moyen-Atlas septentrional. *Notes et Mémoires Service géologique (Maroc)*, 139 et 139 bis, 226 pp.
- Copetake P. & Johnson B. 1984. Lower Jurassic (Hettangian-Toarcian) Foraminifera from the Mochras Barehole, North Wales (UK) and their application to a worldwide biozonation. *2<sup>e</sup> Symposium International sur les foraminifères benthiques*, Pau:183-184.
- Copetake P. & Johnson B. 1989. The Hettangian to Toarcian in stratigraphic Atlas of fossil Foraminifera. In: Jenkyns D.G. & Murray J.W. (ed.), *Stratigraphical Atlas of Fossil Foraminifera*. Ellis Horwood, Chichester: 129-188.
- Corliss B.H. 1985. Microhabitats of benthic foraminifera within deep sea sediments. *Nature*, London, 314: 435-438.
- Corliss B.H. & Chen C. 1988. Morphotype patterns of Norwegian Sea deep-sea benthic foraminifera and ecological implications. *Geology*, 16: 716-719.
- Corliss B.H. & Emerson S. 1990. Distribution of Rose Bengal stained deep-sea benthic foraminifera from the Nova Scotian continental margin and Gulf of Maine. *Deep-Sea Research*, 37: 381-400.
- Cubaynes R., Ruget C. & Rey J. 1989. Essai de caractérisation des prismes de dépôts d'origine eustatique par les associations de foraminifères benthiques: exemple du Lias moyen et supérieur sur la bordure du bassin aquitain. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 308(II): 1517-1522.
- Delance J.H. & Ruget C. 1989. Foraminifères du Dogger nivernais. *Revue de Micropaléontologie*, 32(3): 195-214.
- Douglas R.G. 1979. Benthic foraminifera ecology and paleoecology. A Review of concepts and methods. In: Lipps J.H., Berger W.H., Buzas M.A., Douglas R.G. & Ross C.A., *Foraminiferal Ecology and Paleoecology*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course, 6: 21-53.
- Dresnay R. du 1963. Stratigraphie du Jurassique moyen du Jbel Klakh (Haut-Atlas marocain oriental). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 256: 2872-2874.
- Dresnay R. Du 1966. La géomorphologie du Haut-Atlas oriental (Maroc). *Quaternaria*, Roma, 8: 155-165.
- Dresnay R. du 1971a. Relations paléogéographiques entre sillons atlasiques (Haut et Moyen Atlas) et plate-forme des Hauts-Plateaux (Maroc oriental) pendant l'Aalénien et le Bajocien. *Mémoires du Bureau de recherches géologiques et minières* (Paris), 75: 147-161.
- Dresnay R. du 1971b. Extension et développement des phénomènes récifaux jurassiques dans le domaine atlasique marocain, particulièrement au Lias moyen. *Bulletin de la Société Géologique de France*, Paris, 7 (13): 46-45.
- Dresnay R. du 1976. Carte géologique du Haut Atlas d'Anoual - Bou Anane (Haut Atlas oriental). Echelle 1/200 000. *Notes et Mémoires du Service géologique du Maroc*, Rabat, n° 246.
- Dresnay R. du 1979. Sédiments jurassiques du domaine des chaînes atlasiques du Maroc. Symposium «sédimentation Jurassique West européen», *Association des Sédimentologues Français Pub. Sp.*, 1: 345-365.
- Dubar G. 1952-54. Compte rendu général de l'excursion A34. Haut Atlas Central. *19<sup>e</sup> Congrès Géologique International Alger, 1952; livret guide Service géologique. Maroc*, 16: 35-53.
- Dubar G. 1960-1962. Notes sur la paléogéographie du Lias marocain. (Domaine atlasique). Livre à la Mémoire du Professeur P. Fallot, *Mémoire hors série, Société géologique de France*, 1: 529-544.
- Dubar G. & Mouterde R. 1978. Les formations à Ammonites du Lias moyen dans le Haut-Atlas de Midelt et du Tadla. *Notes et Mémoires Service géologique (Maroc)*, 274: 113 pp.
- Dunham J.B. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. Classification of carbonate rocks, a symposium, *American Association of Petroleum Geologists*, Tulsa, 1: 20-32.
- Elmi S., Amhoud H., Boutakiout M. & Benschili K. 2004. Cadre biostratigraphique et environnemental de l'évolution du paléorelief du Jebel Bou Dahar (Haut Atlas oriental, Maroc) au cours du Jurassique inférieur et moyen. *Bulletin de la Société géologique de France*, 170: 619-628.
- El Kamar A. 1997. *Micropaléontologie du Lias supérieur et du Dogger du Haut-Atlas de Midelt et de Rich (Maroc). Foraminifères, Ostracodes, Biostratigraphie, Paléobiogéographie*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université My Ismail, Meknès, 320 pp, 16 pl. (inédit).
- Fernández-López S.R. & Pavia G. 2015. Mollistephaninae and Frebolditinae, new subfamilies of Middle Jurassic stephanoceratid Ammonoidea. *Paläontologische Zeitschrift*, 89(4):707-727. DOI: 10.1007/s12542-015-0263-7.
- Folk R.L. 1959. Practical petrographic classification of limestone. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, Tulsa, 43(1): 1-38.

---

### Planche III

Photos au MEB (Microscope Electronique à Balayage) des principales espèces de foraminifères benthiques. **A.** *Ammobaculites fontinensis* (Terquem), Bajocien inférieur, (AF5); **B.** *Ammobaculites agglutinans* (d'Orbigny), Bajocien inférieur (AF8); **C.** *Haplophragmium aequale* (Reomer), Bajocien supérieur (BK14); **D.** *Haplophragmium subaequale* (Myatliuk), Bajocien supérieur (BK14); **E.** *Lenticulina argonauta* Kopik, Bajocien supérieur (AF11); **F.** *Lenticulina argonauta* kopik, Bajocien supérieur (AF13); **G.** *Lenticulina quenstedti* (Gümbel), Bajocien supérieur (IT3); **H.** *Dentalina pseudocommunis* Franke, Bajocien supérieur (IT3); **I.** *Flabellamina althoffi* Bartenstein, Bajocien supérieur (IT3); **J.** *Flabellamina althoffi* Bartenstein, Bajocien supérieur (TZ2); **K.** *Citharina clathrata* (Terquem), Bajocien supérieur (TZ2); **L.** *Citharina serratocostata* (Gümbel), Bajocien supérieur (TZ4); **M.** *Eoguttulina bilocularis* (Terquem), Bajocien inférieur (TZ4); **N.** *Eoguttulina triloba* (Terquem), Bajocien inférieur (AF8); **O.** *Spirillina infraoolithica* Terquem, Bajocien inférieur (AF3); **P.** *Ichtyolaria lignaria* (Terquem), Bajocien supérieur (AF13).



- García Joral F., Gómez J.J. & Goy A. 2011. Mass extinction and recovery of the Early Toarcian (Early Jurassic) brachiopods linked to climate change in northern and central Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 302: 367-380. DOI: 10.1016/j.palaeo.2011.01.023.
- Golonka J. 2011. Phanerozoic palaeoenvironment and palaeolithofacies maps of the Arctic region. *Geological Society of London, Memoirs*, 35: 79-129.
- Grigelis A. 1978. Morphology and classification of the *Ceratobulimina*. *Journal of Foraminiferal Research*, 8(4): 275-285.
- Haq B.U., Hardenbol J. & Vail P.R. 1987. Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Sciences*, 235: 1156-1167.
- Hallam A. 1978. Radiations and extinctions in relation to environmental change in the marine Lower Jurassic of north-west Europe. *Paleobiology*, 13: 152-168.
- Hess S., Nagy J. & Laursen G.-V. 2014. Benthic foraminifera from the Lower Jurassic transgressive mudstones of the south-western Barents Sea - a possible high-latitude expression of the global Pliensbachian-Toarcian turnover? *Polar Research*, 33: 20206, DOI: 10.3402/polar.v33.20206.
- Hesselbo S. P., Jenkyns H. C., Duarte L. V. & Oliveira L. C. V., 2007. Carbon-isotope record of the Early Jurassic (Toarcian) Oceanic Anoxic Event from fossil wood and marine carbonate (Lusitanian Basin, Portugal). *Earth and Planetary Science Letters*, 253: 455-470. DOI: 10.1016/j.epsl.2006.11.009.
- Jenkyns H.C. 1988. The Early Toarcian (Jurassic) Anoxic Event: stratigraphic, sedimentary and geochemical evidence. *American Journal of Science*, 288: 101-151.
- Korte C. & Hesselbo S.P. 2011. Shallow marine carbon and oxygen isotope and elemental records indicate ice house-green house cycles during the Early Jurassic. *Paleoceanography*, 26, PA4219.
- Leutenegger S. & Hansen H.J. 1979. Ultrastructural and radio-tracer studies of pore function in Foraminifera. *Marine biology*, 54: 11-16.
- Loeblich A. & Tappan H. 1964. Treatise on Invertebrate paleontology, directed by R.C. Moore, Part. C, Protista 2, *Geological Society of America and Kansas Press University edition*, New York, 2 vol., 900 pp., 653 fig.
- Loeblich A. & Tappan H. 1974. *Recent advances in the classification of the foraminiferida I*, Academic Press, London: 1-54.
- Loeblich A. & Tappan H. 1981. Suprageneric revision of some calcareous Foraminiferida. *Journal of Foraminiferal Research*, 11(2): 159-164.
- McArthur J.M., Donovan D.T., Thirlwall M.F., Fouke B.W. & Matthey D. 2000. Strontium isotope profile of the early Toarcian (Jurassic) oceanic anoxic event, the duration of ammonite biozones, and belemnite palaeotemperatures. *Earth and Planetary Science Letters*, 179: 269-285.
- Michard A. 1976. Eléments de géologie marocaine. *Notes et Mémoires Service géologique (Maroc)*: 252-422.
- Morris P.H. & Coleman B.E. 1989. The Aalenian to Callovian (Middle Jurassic). In: Jenkyns D.G. & Murray J.W. (ed.), *Stratigraphical Atlas of Fossil Foraminifera*. Ellis Horwood, Chichester: 189-236.
- Nagy J. 1992. Environmental significance of foraminiferal morphogroups in Jurassic sea deltas. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 110: 55-81.
- Nikitenko B.L., Reolid M. & Glinskikh L. 2013. Ecostratigraphy of benthic foraminifera for interpreting Arctic record of Early Toarcian biotic crisis (Northern Siberia, Russia). *Palaeo* 3, 376: 200-212.
- Norling E. 1972. Jurassic stratigraphy and foraminifera of Western Scania, Southern Sweden. *Sveriges Geologiska Undersökning, Ser. Ca*, 47: 120 pp., 54 fig., 21 pl.
- Olóriz F., Reolid M. & Rodríguez-Tovar F.J. 2003. Palaeogeographic and stratigraphic distribution of mid-late Oxfordian foraminiferal assemblages in the Prebetic Zone (Betic Cordillera, Southern Spain). *Geobios*, 36(6):733-747.
- Reolid M. 2014. Stable isotopes on foraminifera and ostracods for interpreting incidence of the Toarcian oceanic anoxic event in western most Tethys: role of water stagnation and productivity. *Palaeo*3, 395: 77-91.
- Reolid M., Rodríguez-Tovar F.J., Nagy J. & Olóriz F. 2008. Benthic foraminiferal morphogroups of mid to outer shelf environments of the Late Jurassic (Prebetic Zone, Southern Spain): Characterisation of biofacies and environmental significance. *Palaeo*3, 261: 280-299.
- Reolid M., Rodríguez-Tovar F.J., Marok A. & Sebane A. 2012a. The Toarcian oceanic anoxic event in the western Saharan Atlas, Algeria (North African paleomargin): role of anoxia and productivity. *GSA Bulletin*, 124: 1646-1664.
- Reolid M., Sebane A., Rodríguez-Tovar F.J. & Marok A. 2012b. Foraminiferal morphogroups as a tool to approach the Toarcian anoxic event in the western Saharan Atlas (Algeria). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 323-325: 87-99.
- Reolid M., Chakiri S. & Bejjaji Z. 2013. Adaptative strategies of the Toarcian benthic foraminiferal assemblages from the Middle Atlas (Morocco): Palaeoecological implications. *Journal of African Earth Sciences*, 84: 1-12.
- Reolid M., Marok A. & Sebane A. 2014. Foraminiferal assemblages and geochemistry for interpreting the incidence of Early Toarcian environmental changes in North Gondwana paleomargin (Traras Mountains, Algeria). *Journal of African Earth Sciences*, 95: 105-122.
- Reolid M., Mattioli E., Duarte L.V. & Marok A. 2018. Advances in the understanding of the Toarcian Oceanic Anoxic Event (IGCP-655 annual report). *Episodes*, 41(2): 121-128.
- Riegraf W. 1985. Microfaune, biostratigraphie und fazies im untere Toarcium sud west Deutschland und Vergleiche mit Benachbarten Gebieten. *Tübinger Mikropaläontologische Mitteilungen*, 3: 232 pp., 33 fig., 12 pl.
- Rita P., Reolid M. & Duarte L.V. 2016. Benthic foraminiferal assemblages record major environmental perturbations during the Late Pliensbachian-Early Toarcian interval in the Peniche GSSP, Portugal. *Palaeo* 3, 454: 267-281.
- Ruget C. 1982. Foraminifères du Lias moyen et supérieur d'Obon (chaînes ibériques, province de Teruel, Espagne). *Geobios*, Lyon, 15(1): 53-91.
- Ruget C. 1985. Les Foraminifères (Nodosariidés) du Lias de l'Europe occidentale. *Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon*, 94: 272 pp.
- Ruget C. & Nicollin J.P. 1997. Les petits foraminifères benthiques dégagés. Colloque sur la biostratigraphie du Jurassique ouest-européen et méditerranéen. *Groupe Français d'Etude du Jurassique*: 281-291, 3 tab., 2 pl.
- Sadki D. 1984. *Biostratigraphie et paléontologie des ammonites de quelques gisements du Bajocien inférieur du Maroc, de France et du Portugal*. Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle, Université Claude Bernard, Lyon I, 205 pp.



- Sadki D. 1992. Les variations de facies et les discontinuités de sédimentation dans le Lias-Dogger du Haut-Atlas central (Maroc) : chronologie, caractérisation, corrélation. *Bulletin de la Société géologique de France*, 163(2) : 179-186.
- Sadki D. 1994a. L'Aalénien supérieur et le Bajocien inférieur du Haut Atlas marocain : Révision biostratigraphique et corrélations. In : Cresta S. & Pavia G. (eds), 3rd International Meeting on Aalenian and Bajocian Stratigraphy, Marrakesh. *Miscellanea del Servizio Geologico Nazionale de Roma*, 5 : 177-190
- Sadki D. 1994b. Proposition de la région de Rich (Haut-Atlas central marocain) comme stratotype auxiliaire subméditerranéen pour la limite Aalénien-Bajocien. *Geobios*, M.S. 17 : 431-440.
- Sadki D. 1996. Le Haut-Atlas Central (Maroc). Stratigraphie et Paléontologie du Lias supérieur et du Dogger inférieur. Dynamique des bassins et des peuplements. *Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon*, 142 : 245 pp.
- Sadki D. 2015. Integrated biostratigraphy across the Aalenian/Bajocian boundary of the Central High Atlas, Morocco. *Volumina Jurassica* Warsaw, Pologne, 13(1) : 27-42.
- Sadki D. & Alméras Y. 1992. Les brachiopodes aaléno-bajociens de la région de Rich (Haut-Atlas central, Maroc) : implications biostratigraphiques et paléocéologiques. *Cahiers de l'Université Catholique de Lyon*, sér. Sci., 5 : 93-105.
- Sadki D., Elmi S. & Amhoud H. 1999. Les Formations jurassiques du Haut-Atlas central marocain : corrélations et évolution géodynamique. *1<sup>er</sup> Colloque national sur le Jurassique marocain*, Rabat. Moroccan Association of Petroleum Geologists : 122-123.
- Schlogl J., Kočí T., Jäger M., Segit T., Sklenář J., Sadki D., Ibnoussina M. & Tomašových A. 2017. Tempestitic shell beds formed by a new serpulidpolychaete from the Bajocian (Middle Jurassic) of the Central High Atlas (Morocco). *Paläontologische Zeitschrift*. DOI: 10.1007/s12542-017-0381-5.
- Sebane A. 1984. *Etude systématique et paléocéologique de la microfauve du Lias moyen et supérieur du Djebel Nador (Taret-Algérie)*. Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> Cycle, Université Claude Bernard, Lyon 1, 135 pp.
- Sebane A., Marok A. & Elmi S. 2007. Evolution des peuplements de foraminifères pendant la crise toarciennne : l'exemple des données des monts des Ksour (Atlas saharien occidental, Algérie). *Comptes Rendus Palevol*, 6 : 189-196.
- Septfontaine M. 1985. Milieux de dépôts et foraminifères (Lituolidés) de la plate-forme carbonatée du Lias moyen au Maroc. *Revue de Micropaléontologie*, 28(4) : 265-289.
- Severin K.P. 1983. Test morphology of benthic foraminifera as a discriminator of biofacies. *Marine Micropaleontology*, 8 : 65-76.
- Silva S.C., Henriques M.H. & M. L. Canales M.L. 2016. High resolution ammonite-benthic foraminiferal biostratigraphy across the Aalenian-Bajocian boundary in the Lusitanian Basin (Portugal). *Geological Journal*. DOI: 10.1002/gj.2556.
- Soulimane C., Reolid M. & Marok A. 2017a. Ostracod assemblages from the upper most Pliensbachian and Lower Toarcian of the Traras Mountains (Tlemcen Domain, north Algeria). *Arabian Journal of Geosciences* 10, DOI: 10.1007/s12517-017-3180-0.
- Soulimane C., Reolid M., Rita P., Marok A. & Duarte L.V. 2017b. Associations des ostracodes du Pliensbachien terminal-Toarcien basal de la Téthys occidentale : comparaison entre les Monts des Traras (Algérie), Subbétique (Espagne) et d'Algarve (Portugal). *Annales de Paléontologie*, 103(4) : 251-269, DOI : 10.1016/j.annpal.2017.10.002.
- Stanley R.G. 1981. Middle Jurassic shoaling of the Central High Atlas sea near Rich, Morocco. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51(3) : 895-907.
- Studer M. 1980. *Tectonique et pétrographie des roches sédimentaires, éruptives et métamorphiques de la région de Tounfit-Tirrhist (Haut-Atlas central mésozoïque, Maroc)*. Thèse de Doctorat, Université Neuchâtel, Suisse, 102 pp. (inédit).
- Suan G., Nikitenko B.L., Rogov M.A., Baudin F., Spangenberg J.E., Knyazev V.G., Glinskikh L.A., Goryacheva A.A., Adatte T., Riding J.B., Föllmi K.B., Pittet B., Mattioli E. & Lécuyer C. 2011. Polar record of Early Jurassic massive carbon injection. *Earth and Planetary Science Letters*, 312 : 102-113.
- Termier H. 1936. Etudes géologiques sur le Maroc central et le moyen Atlas septentrional. *Notes et Mémoires Service géologique (Maroc)*, Rabat, n° 33.
- Tyszka J. 1994. Response of Middle Jurassic benthic foraminiferal morphogroups to dysoxic/anoxic condition in the Pieniny Klippen Bassin, (Polish Carpathians). *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology*, Amsterdam, 110 : 55-81.
- Velić I. 2007. Stratigraphy and Palaeobiogeography of Mesozoic Benthic Foraminifera of the Karst Dinarides (SE Europe). *Geologia Croatica*, 60(1) : 1-113, 18 figs, 26 pl.
- Warne J.E. 1988. Jurassic carbonate facies of the central and eastern High Atlas rift, Morocco. In : V. H. Jacobshagen edit., *Lecture notes in Earth Sciences*. The Atlas system of Morocco, Spring-Verlag : 169-199.
- Warne J.E., Stanley R.G., Wilson J.L. & Ekdale A.A. 1975. Middle Jurassic reef tract, Central High Atlas, Morocco. *Proced. 9th international sedimentological Congress*, Theme X, pp. 141-150.
- Warne J.E., Crevello P.D., Hazlet B.A., Atmane F. & Benbouziane M. 1988. Evolution of the Jurassic High Atlas Rift, Morocco : transtention, structural and eustatic controls on carbonate facies, tectonic inversion. *AAPG Mediterranean Basins conference*, Field trip 9, Nice 1988.
- Weis R., Sadki D. & Mariotti N. 2017. Aalenian-Bajocian belemnites from the Middle and High Atlas, Morocco : taxonomy, biostratigraphy and palaeobiogeographical affinities. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie Abh. Stuttgart*, 284(2) : 215-240.
- Wernli R. 1971. Les foraminifères du Dogger du Jura méridional (France). *Archives des Sciences*, Genève, 24(2) : 305-364.
- Wernli R. & Septfontaine M. 1971. Micropaléontologie comparée du Dogger du Jura méridional (France) et des Préalpes médianes plastiques (Suisse). *Eclogae geologicae Helvetiae*, Bâle, 64(3) : 437-458.
- Yacoubi A.N. 1984. *Etude micropaléontologique (ostracodes et foraminifères) des marnes de Boulmane (Dogger du Moyen-Atlas marocain)*. Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle, Université Claude Bernard, Lyon, 131 pp., 28 fig., 14 pl. (inédit).