

REVUE DE

VOLUME 35(2) – 2016

PALÉOBIOLOGIE

mséum
genève

Une institution
Ville de Genève

www.museum-geneve.ch



L'ammonitico-rosso toarcien de l'Oued Zraa (bordure NW du Moyen-Atlas plissé, Maroc) : études biostratigraphiques, sédimentologiques et cadre paléogéographique

Fatima EL HAMMACHI¹, Khadija BENSIL², Hassan EL ARABI³, Hassan TABYAOU¹
& André CHARRIERE⁴

¹ Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté Polydisciplinaire de Taza, Laboratoire Ressources Naturelles et Environnement, B.P. 1223, Taza-Gare, Taza 35000, Maroc. E-mail: fatima.elhammichi@usmba.ac.ma

² Ecole Nationale Supérieure des Mines de Rabat, Av. Hadj Cherkaoui, B.P. 753, Agdal, Maroc

³ Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Faculté des Sciences Dhar Mahraz, Département de Géologie, B.P. 1796, Fès-Atlas, 3003, Maroc

⁴ Université Toulouse III; 13, Terrasses de la Figuière, F-30140 Anduze, France

Résumé

Situé à l'articulation du sillon moyen atlasique et de la plate-forme nord-occidentale, l'ammonitico-rosso toarcien de l'Oued Zraa fait ici l'objet d'analyses sédimentologiques et d'études biostratigraphiques détaillées. Quatre coupes réparties sur deux sites permettent de préciser la bio-chronologie des différents niveaux de l'ammonitico-rosso et de son substratum.

Aux formations dolomitiques massives du Lias inférieur succèdent des dolomies litées, remplacées latéralement par des calcaires lités bioclastiques qui ont livré des ammonites du Domérien (Pliensbachien supérieur). Le passage à l'ammonitico-rosso toarcien est brutal et souligné par une importante discontinuité sédimentaire associée à une lacune du Pliensbachien terminal. La série se poursuit par deux faisceaux d'ammonitico-rosso calcaires datés du Toarcien inférieur à moyen, qui évoluent verticalement vers un ammonitico-rosso marneux du Toarcien moyen, plus développé vers l'est. Le tout est coiffé par des calcaires délités en plaquettes à laminites bioclastiques et riches en bioclastes «calcaires à filaments». Les peuplements d'ammonites sont abondants et très déséquilibrés, dominés par les platycônes (*Hildoceras*). Ils sont représentés surtout par des ammonites de petite taille (4 à 5 cm) généralement mal conservées: écrasées, usées, fragmentaires et déformées. Elles datent les divers horizons (Sublevisoni, Lusitanicum, Bifrons et Semipolium) de la zone à Bifrons (Toarcien moyen). La zone basale du Toarcien (Polymorphum) est bien établie, alors qu'il est plus difficile de distinguer la zone à Levisoni. A cette incertitude près, on peut envisager la persistance de l'ammonitico-rosso durant le Toarcien inférieur et le Toarcien moyen.

L'état très bioturbé, usé et fragmentaire des ammonites ainsi que leur petite taille témoignent d'un milieu de dépôt instable associé à l'isolement des peuplements d'ammonoïdes. Cet isolement est lié au compartimentage tectono-sédimentaire original de la bordure NW du sillon moyen atlasique au niveau de l'Oued Zraa avec une double structuration, d'une part directionnelle (N40°E) et d'autre part transverse (N100-120°E).

La présence d'autres dépôts de type ammonitico-rosso le long de l'accident nord moyen atlasique traduit la persistance au Toarcien de cette ligne paléogéographique et paléostratigraphique ayant séparé le bassin subsident au SE de la plate-forme stable au NW. Ces dépôts se différencient des séries grésio-ferrugineuses rubéfiées jalonnant les bordures méridionales des sillons atlasiques. L'ammonitico-rosso calcaréo-marneux de l'Oued Zraa se rattache aux cortèges des faciès noduleux et des ammonitico-rosso véritables bien développés dans l'avant-pays rifain du NE marocain et dans l'Ouest algérien.

Mots-clés

Ammonitico-rosso, Toarcien, Biostratigraphie, Découpage tectono-sédimentaire, Paléogéographie, Oued Zraa, Moyen Atlas, Maroc.

Abstract

The Toarcian ammonitico-rosso of Oued Zraa (NW border of folded Middle Atlas, Morocco): biostratigraphy, sedimentology and palaeogeography.- Located at the junction between the Middle Atlas trough and the north-western platform (tabular Middle Atlas), the Toarcian ammonitico-rosso of Oued Zraa is here the subject of detailed sedimentological and biostratigraphical studies. Four stratigraphic sections spread over two sites allow specifying the bio-chronology of different levels of ammonitico-rosso and its substratum.

To the massive dolomitic formations of the Lower Liassic succeed bedded dolomite, replaced laterally by bedded bioclastic limestone who delivered ammonites of the Domerian (upper Pliensbachian). The transition to the Toarcian ammonitico-rosso is abrupt and highlighted by an important sedimentary discontinuity associated with a gap corresponding to the uppermost Pliensbachian. The series continues with two sequences of calcareous ammonitico-rosso dated of the Lower to Middle Toarcian, which evolve toward a marly ammonitico-rosso of Middle Toarcian age, capped by disintegrated platy limestones with bioclastic laminites "calcaires à filaments" dating of the same stage. The fauna is abundant and quite unbalanced, dominated by platycones (*Hildoceras*). They are mainly represented by small ammonites (4 to 5 cm) generally poorly preserved: crushed, worn, fragmentary and distorted. They date the various horizons (Sublevisoni, Lusitanicum, Bifrons and Semipolitum) of the Bifrons zone (middle Toarcian). The basal zone of Toarcian (Polymorphum) is well established, while it is more difficult to distinguish Levisoni zone. Even with this uncertainty, we can consider the persistence of the ammonitico-rosso during the Early Toarcian and the middle Toarcian.

The state of preservation of the Ammonites, i.e. very bioturbated, worn, fragmented and specimens small in size, indicates an unstable depositional environment associated with the isolation of ammonoids communities. This situation is related to the original tectono-sedimentary compartmentation of the north-western border of the middle Atlas at the Oued Zraa with double structuring, directional (N40°E) and transverse (N100-120°E).

The presence of other deposits of ammonitico-rosso along the North Middle Atlas Fault reflects the persistence during the Toarcian of this palaeogeographical and palaeostructural line which have separated the subsiding basin in the southeast to the stable platform in the northwest. These deposits differ to the red ferruginous sandstone series which mark the southern borders of the Atlasic trough. The calcareous and marly ammonitico-rosso of Oued Zraa is related to the corteges of nodular facies and ammonitico-rosso well developed in the Rif foreland of north-eastern Morocco and in western Algeria.

Keywords

Ammonitico-rosso, Toarcian, Stratigraphy, Tectono-sedimentary compartmentation, Palaeogeography, Oued Zraa, Middle Atlas, Morocco.

1. INTRODUCTION

Les faciès ammonitico-rosso sont largement répandus dans le domaine téthysien à différentes époques du Jurassique (Farinacci & Elmi, 1981; Martire, 1996; Martire *et al.*, 2006; Kandemir & Yilmaz, 2009). Ils se sont notamment développés au cours des stades initiaux d'individualisation de bassins et de sillons liés à l'histoire de la Téthys (Auboin, 1964). Ils traduisent des périodes d'instabilité, de distension des marges stables en particulier, et leur datation précise est nécessaire aux reconstitutions géodynamiques et paléogéographiques (Cecca *et al.*, 1992).

Le Moyen Atlas et les parties centrales et orientales du Haut Atlas marocain (Fig. 1B) résultent de l'inversion, au Tertiaire, de deux diverticules jurassiques sud-téthysiens (Frizon de Lamotte *et al.*, 2008). Le bassin moyen atlasique a été essentiellement le siège d'une sédimentation de plate-forme carbonatée durant le Lias inférieur et moyen. Celle-ci s'est fragmentée précocement par un système de blocs basculés (El Arabi *et al.*, 1986; Charrière, 1990; Charrière *et al.*, 2011) générateurs de hauts fonds, avec localement des zones émergées et lacunaires, séparant des bassins (ou ombilics) relativement profonds (Elmi & Benshili, 1987; Benshili, 1989; Bassoulet *et al.*, 1991). La dislocation de la plateforme carbonatée (Fedan, 1993) s'accroît vers la fin du Domérien et le découpage paléogéographique se poursuivra avec la sédimentation à dominante marneuse du Toarcien. De rares affleurements de type ammonitico-rosso ont été signalés (Robillard, 1981; Sabaoui, 1987; Charrière, 1990; El Arabi *et al.*, 1999) dans le Moyen Atlas (Fig. 1A). Dans la région de l'Oued Zraa (Fig. 2B), le Toarcien fut dé-

couvert à l'occasion des levés de la carte géologique de Sefrou (Charrière, 1989), la discrétion des affleurements expliquant qu'ils soient passés antérieurement inaperçus (Termier, 1936; Termier & Dubar, 1941; Colo, 1962; Martin, 1981).

Une première description des terrains toarciens du secteur (Charrière, 1990, pp. 191-195) différencia des dépôts de type ammonitico-rosso, des «calcaires à filaments» et des marnes jaunes constituant un faciès de transition avec les marnes grises du bassin. Le secteur fut visité initialement en compagnie de R. du Dresnay qui identifia rapidement un ammonitico-rosso à *Bifrons* d'âge Toarcien moyen. En 1996, des observations complémentaires furent effectuées sur le terrain avec A. Faure Muret et S. Elmi qui reconnurent un véritable ammonitico-rosso calcaréo-marneux distinct des dépôts littoraux bioclastiques ferrugineux habituellement représentés en bordure des sillons atlasiques. El Arabi *et al.* (1999) décrivent une succession lithostratigraphique d'ensemble de l'ammonitico-rosso et soulignent l'importance de ce site situé à l'articulation entre la plate-forme et le sillon moyen-atlasique. Par la suite, d'autres travaux détaillés se sont poursuivis sur le Toarcien-Aalénien des secteurs occidentaux et méridionaux du Moyen Atlas (El Hammichi, 2002; El Hammichi *et al.*, 2002, 2007, 2008; El Hammichi & Tabyaoui, 2015; El Arabi, 2001; El Arabi *et al.*, 2001) et malgré la bonne exposition des successions et la grande richesse en faune, l'ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, n'avait fait l'objet d'aucun travail stratigraphique de détail.

La présente étude du secteur de l'Oued Zraa vise d'une part à établir des découpages biostratigraphiques permettant des corrélations et des reconstitutions paléogéo-

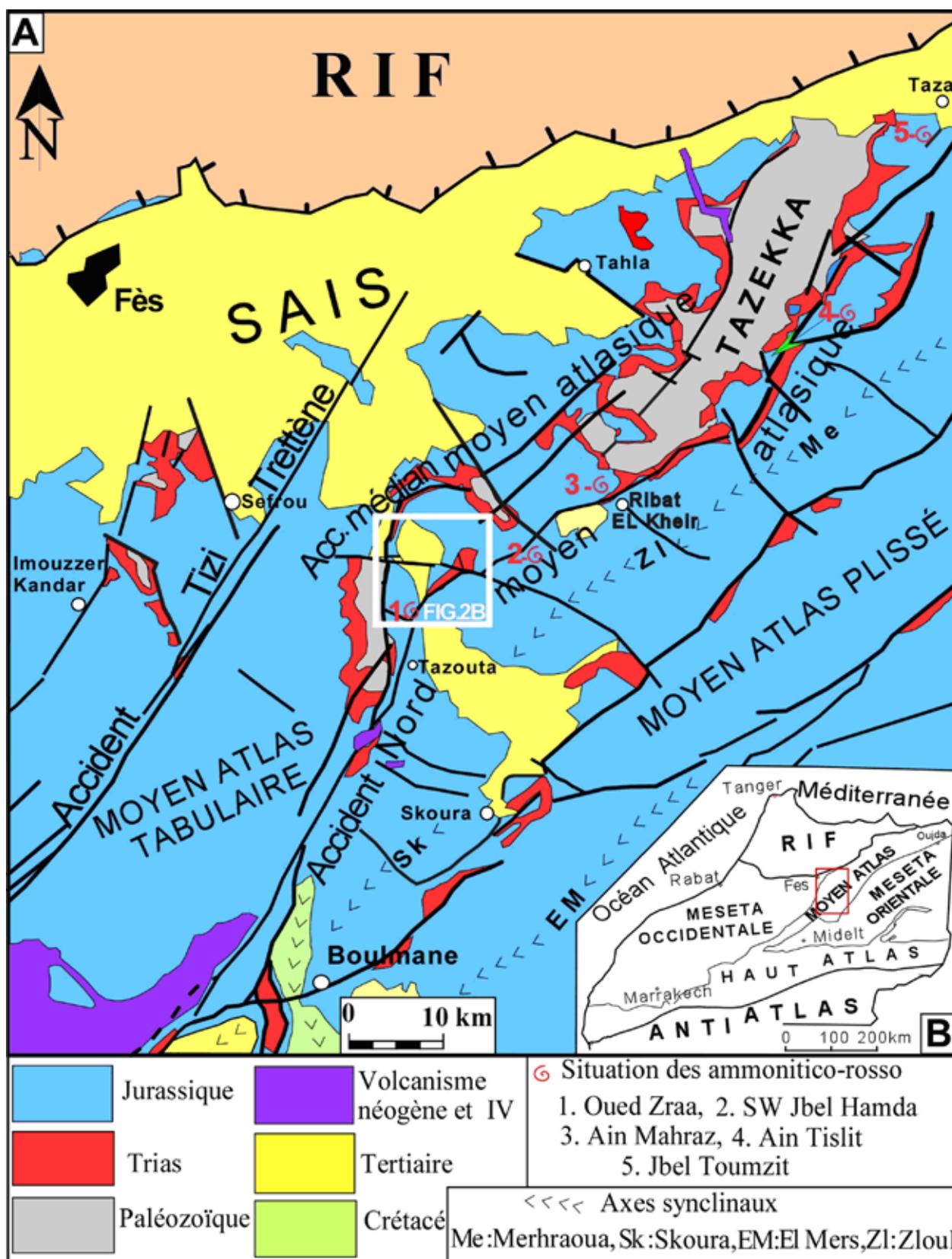


Fig. 1: A: Cadre géologique et structural du Moyen-Atlas central et septentrional et position du secteur d'étude. B: Situation du domaine atlasique dans le Maroc septentrional.

Fig. 1: A: Geological and structural framework of central and northern Middle Atlas and situation of the study area. B: Location of the Atlas domain in northern Morocco.

graphiques fiables et d'autre part à préciser le mode de genèse de ce faciès ammonitico-rosso. A cet effet, quatre coupes ont été levées sur deux sites situés dans deux panneaux tectoniques distincts. Les caractères lithologiques, sédimentologiques et paléontologiques des successions sont examinés dans leurs plus fins détails. L'intégration des différentes données d'ordre sédimentologique, paléo-écologique et structural conduit à proposer un modèle de fonctionnement du dispositif tectono-sédimentaire toarcien de l'Oued Zraa. Ce site est ensuite intégré au canevas paléogéographique et structural du Moyen Atlas et confronté à d'autres dépôts du domaine atlasique. Au final, le segment structural à ammonitico-rosso du Moyen Atlas est replacé dans le cadre de la paléogéographie toarcienne de la bordure SW péri-téthysienne.

2. CADRE GÉOLOGIQUE

Le secteur de l'Oued Zraa se situe (Fig. 2) dans un panneau délimité à l'ouest par l'accident médian moyen atlasique (Sabaoui & Viillard, 1987) et à l'est par l'accident nord moyen atlasique (Colo, 1962) (acronyme ANMA) séparant le Moyen Atlas tabulaire et le Moyen Atlas plissé. Ce panneau est recoupé par l'Oued Sebou qui limite au NW le « Bassin miocène de l'Oued Zraa » drainé par la rivière éponyme (Fig. 2A). Les deux accidents directionnels sont de plus recoupés par une faille transverse N110-N120 (faille de l'Oued Zraa) qui paraît constituer le prolongement de l'accident d'Ichou ou Anou, ligne paléogéographique majeure au cours de la sédimentation liasique du sillon moyen atlasique (Benshili, 1989).

La région de l'Oued Zraa se localise au carrefour de ce réseau structural qui eut un fonctionnement polyphasé au cours de l'histoire méso-cénozoïque. Le réseau de failles présente clairement un jeu post-miocène, comme indiqué sur les cartes (Figs 1 et 2B). Les dépôts miocènes de ce panneau sont de nature lacustre et incluent à leur base un épisode éruptif datant de $10 \text{ Ma} \pm 0,5$ (in Martin, 1981). Cet ensemble recouvre en discordance des séries liasiques parfois simplement basculées, parfois plissées. Une coupe d'ensemble de la zone de l'accident nord moyen atlasique (Fig. 2C) montre d'abord l'opposition tectonique entre le compartiment oriental, faiblement déformé, correspondant à la bordure NW du synclinal du Zloul et le compartiment occidental faillé sur le flanc NW de la première ride anticlinale associée à l'ANMA. Ce découpage tectonique actuel est surimposé à une tectonique et paléogéographie toarcienne, comme le prouve l'évolution E-W des dépôts toarciens. Dans le compartiment oriental se rencontre l'épaisse série de marnes grises constituant la « Fm de Beychine » ou « Fm de Taffert », dépôts caractéristiques du sillon moyen atlasique (Colo, 1962; du Dresnay, 1988; Benshili, 1989). A la bordure occidentale de l'accident, un dense réseau de failles directionnelles subparallèles découpe le secteur de l'Oued Zraa en différentes lanières. Dans les panneaux

ainsi délimités se rencontrent des séries toarciennes d'épaisseur et de composition lithologique différentes. Globalement, on peut différencier un panneau bordier proche de l'actuel ANMA comprenant plusieurs dizaines de mètres de dépôts de « marnes jaunes » intercalées de « calcaires à filaments » et des panneaux plus éloignés de l'accident, avec la « zone des ammonitico-rosso ». Sur cette zone à sédimentation réduite (maximum une dizaine de mètres) ont été relevées les coupes détaillées du site 1 (Za, Zb, Zc) et du site 2 (Zd) localisés dans deux panneaux distincts. A ce découpage directionnel se superpose un découpage transverse du secteur par la faille de l'Oued Zraa. Au nord de celle-ci, les plis à matériel liasique montrent que les calcaires lités bioclastiques du Lias moyen sont directement surmontés par des marnes grises analogues aux marnes toarciennes du sillon. Par contre, au sud de la faille, dans le secteur de l'Oued Zraa, le Lias moyen est à dominante dolomitique et se trouve surmonté par un cortège original : marnes jaunes, calcaires à filaments ou directement ammonitico-rosso, objet de la présente étude.

3. DESCRIPTION DES COUPES

Les coupes ont été levées (cf. encarté, Fig. 2A) d'une part sur les berges de l'Oued Zraa au sud du douar Ouled Daoud : site 1, avec une coupe d'ensemble (Zb) et deux coupes de détails complémentaires (Za et Zc) et d'autre part le long d'un affluent de l'Oued Zraa orthogonal aux structures : site 2 (coupe Zd). Les déterminations paléontologiques ont été réalisées par certaines d'entre nous (F. E. H. & Kh. B.). La zonation adoptée est celle du standard téthysien établi par Elmi *et al.* (1997). Les ammonites récoltées et citées dans le texte sont déposées au Laboratoire de Géologie à la Faculté Polydisciplinaire de Taza (Maroc).

3.1. Site 1

Sur les rives d'Oued Zraa, les escarpements offrent des conditions d'observation exceptionnelles. La coupe (Zb) (Fig. 3) levée sur le flanc est du dit Oued (33,744996N; 4,632577W), montre une succession continue qui a permis de suivre l'évolution verticale et latérale des différents termes de l'ammonitico-rosso et de son substratum. Des compléments d'observations sont donnés par deux autres coupes (Za et Zc).

Le substratum plienschbachien :

Les premiers niveaux inférieurs observables sont des alternances de marnes schisteuses gris-noir et de calcaires bioclastiques gris, rouges par endroits, à bélemnites, galets mous et rares ammonites (bancs 1 à 18) (Pl. I, fig. 2). Les bancs calcaires ayant une épaisseur de 10 à 20 cm ont des surfaces légèrement ondulées et leurs limites avec

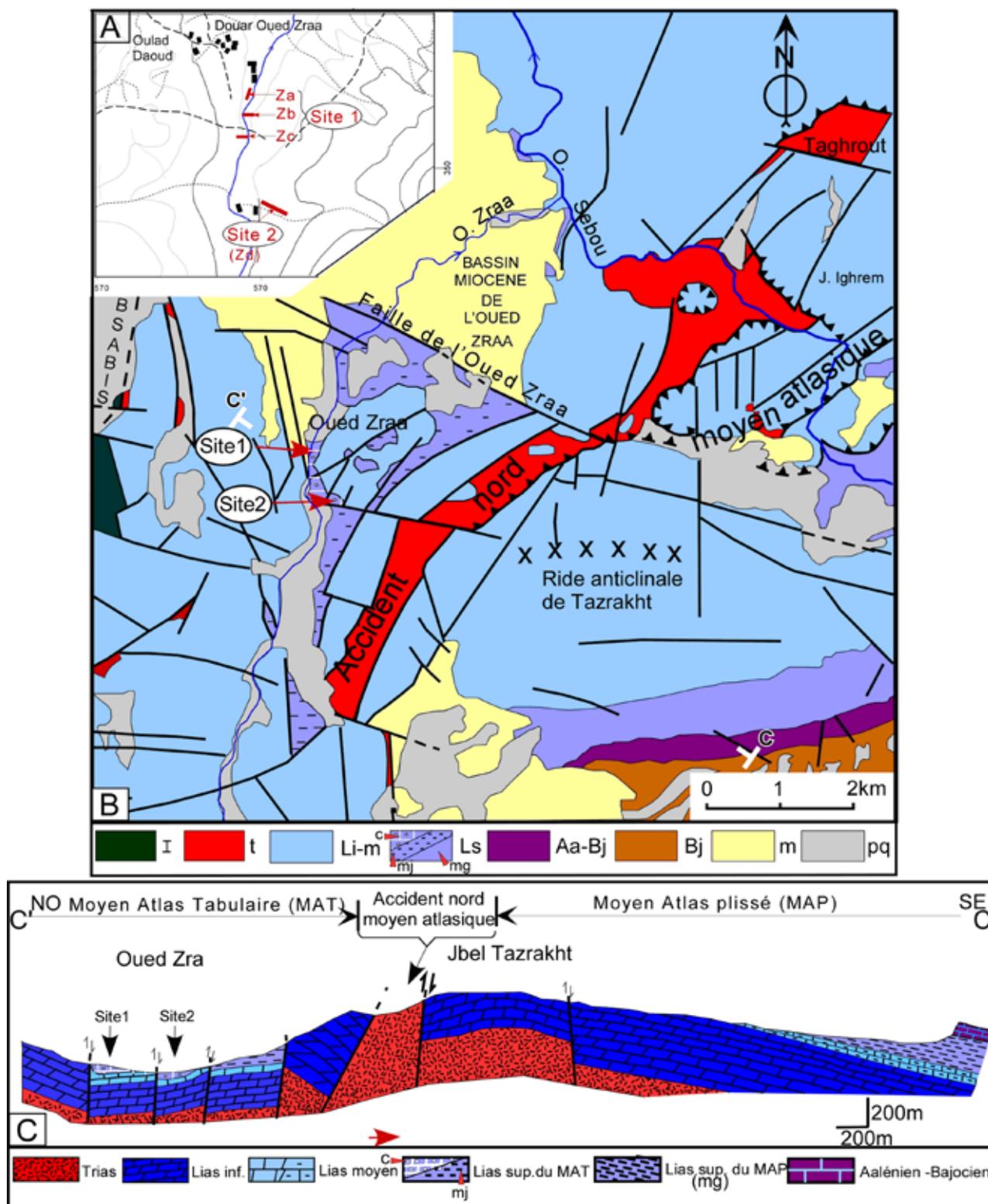


Fig. 2: A: Situation des coupes relevées au sud du douar de l'Oued Zraa; B: Carte géologique de la région de l'Oued Zraa; C: Coupe d'ensemble de la zone de transition entre le Moyen Atlas tabulaire et le Moyen Atlas plissé. Légende: I: Paléozoïque, t: Trias, Li-m: Lias inférieur-moyen, Ls: Lias supérieur (c: calcaires à filaments; mj: marnes jaunes; mg: marnes grise), Aa-Bj: Aalénien-Bajocien inférieur, Bj: Bajocien, m: Miocène supérieur, q: Quaternaire.

Fig. 2: A: Situation of the geological sections studied in the south of Oued Zraa village; B: Geological map of the Oued Zraa region; C: Cross-section of the transitional zone between the Tabular Middle Atlas and the Folded Middle Atlas. Legend: I: Palaeozoic, t: Trias, Li-m: lower to middle Lias, Ls: upper Lias (c: limestones with filaments; mj: yellow marls; mg: gray marls), Aa-Bj: Aalenian to lower Bajocian, Bj: Bajocian, m: upper Miocene, q: Quaternary.

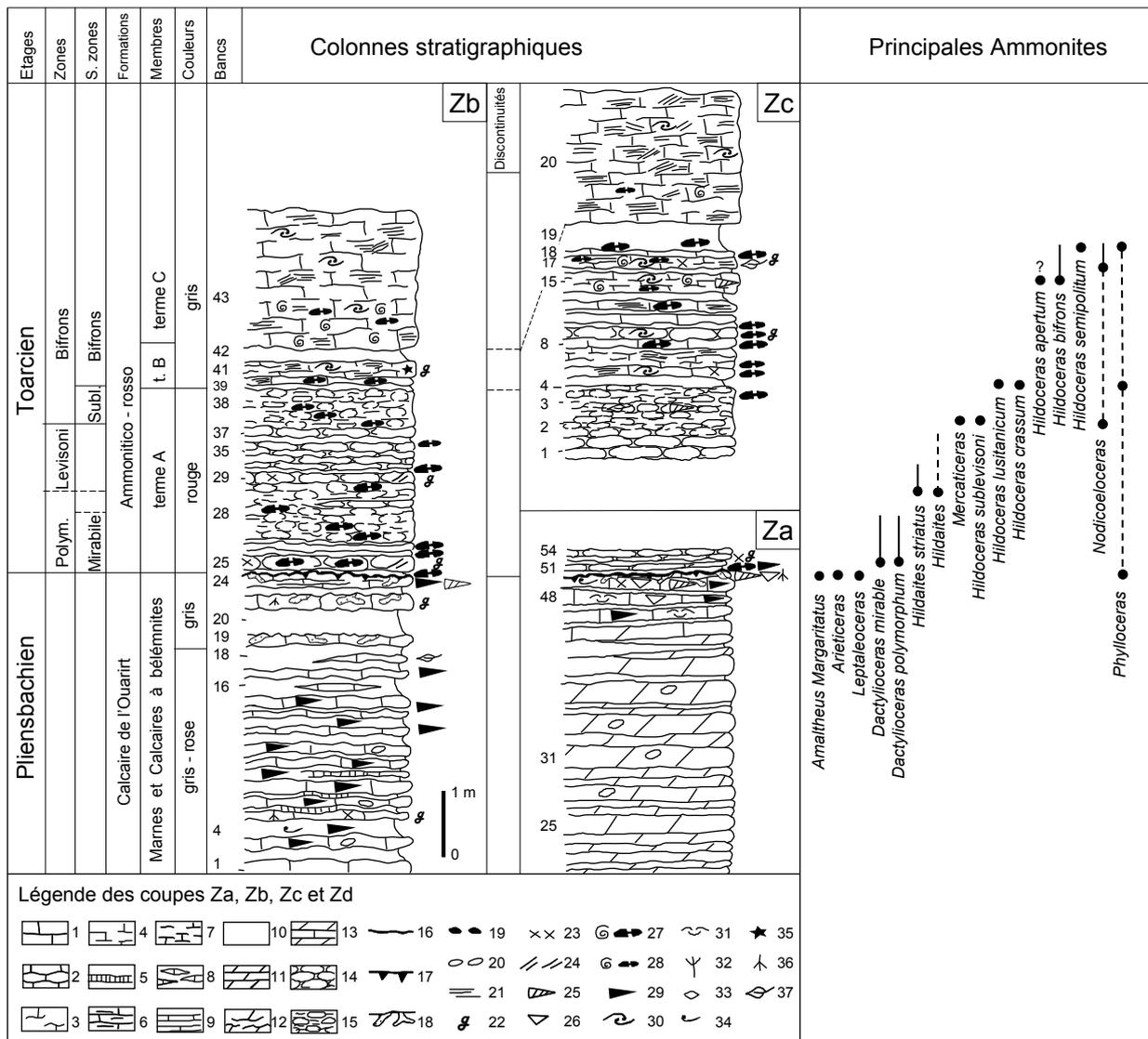


Fig. 3: Succession lithostratigraphique de l'ammonitico-rosso toarcien de l'Oued Zraa et de son substratum dans la vallée d'Oued Zraa (site 1 avec Zb coupe d'ensemble et Za, Zc variations latérales) : faciès, datation et distribution des ammonites de la coupe Zb (étoffée par la faune des coupes Za et Zc respectivement pour le Domérien et la sous-zone à Bifrons).

En insertion: Légende commune des colonnes lithostratigraphiques des Fig. 3 et Fig. 4. (1. Calcaires en bancs réguliers, 2. Bancs calcaires à surfaces ondulées, 3. Calcaires massifs, 4. Calcaires délités, 5. Calcaires en plaquettes, 6. Calcaires marneux, 7. Marnes à passées calcaires, 8. Marnes à lentilles calcaires, 9. Alternances marnes – calcaires, 10. Marnes, 11. Dolomies en bancs réguliers, 12. Dolomies massives, 13. Dolomies et calcaires, 14. Calcaires pseudonoduleux, 15. Marnes à nodules calcaires, 16. Encroûtements, 17. Surfaces durcies et perforées, 18. Bioturbation, 19. Pellets, 20. Galets mous, 21. Laminations, 22. Glauconie, 23. Grains de quartz silteux, 24. Bioclastes, 25. Gastéropodes, 26. Brachiopodes, 27. Ammonites, 28. Ammonitella, 29. Belemnites, 30. Filaments, 31. Débris de bivalves, 32. Algues, 33. Ostracodes, 34. Lamellibranches, 35. Echinodermes, 36. Spicules d'éponges, 37. Matière organique, bois fossile).

Fig. 3: Lithostratigraphic succession of Toarcian Ammonitico-rosso of Oued Zraa and its substratum in the valley of Oued Zraa (site 1 with Zb overall section and Za, Zc lateral variations) : facies, dating and ammonites distribution of Zb section (supplemented by fauna of Za and Zc section respectively for Domerian and Bifrons subzone).

Insert: Common legend of lithostratigraphic columns in Fig. 3 and Fig. 4. (1. Limestone in regular beds, 2. Limestone beds with corrugated contacts, 3. Massive limestones, 4. Disintegrated limestones, 5. Platy limestones, 6. Marly limestones, 7. Marls with limestone passage, 8. Marls with limestone lenses, 9. Marls and limestones alternations, 10. Marls, 11. Dolomite in regular beds, 12. Massive dolomite, 13. Dolomite and limestone, 14. Pseudo-nodular limestones, 15. Marls with limestone nodules, 16. Incrustations, 17. Hardened and perforated surfaces, 18. Bioturbation, 19. Pellets, 20. Clay galls, 21. Laminations, 22. Glauconite, 23. Silty quartz, 24. Bioclasts, 25. Gastropods, 26. Brachiopods, 27. Ammonites, 28. Ammonitella, 29. Belemnites, 30. Filaments, 31. Bivalves debris, 32. Algae, 33. Ostracods, 34. Bivalves, 35. Echinoderms, 36. Sponge spicules, 37. Organic matter, fossil wood).

les interbancs marneux sont flous. Vers le sommet, les couches marneuses deviennent plus épaisses. Elles renferment des lentilles calcaires et leur couleur s'assombrit dans certains niveaux (bancs 17, 18). Le microfaciès est un wackestone riche en silts et fins bioclastes : échinodermes, bivalves, foraminifères, filaments, spicules d'éponges. Les grains de glauconie sont assez fréquents. Vers la base, il y a dolomitisation partielle. Vers le sommet, le sédiment se charge en matière organique, ce qui lui donne une coloration plus sombre.

A quelques dizaines de mètres vers le NW (coupe Za), cette unité passe latéralement à des dolomies roses avec des zonations et des concrétions ferrugineuses concentrées dans les litages. Le microfaciès est une dolosparite. Il s'agit probablement d'un phénomène de métasomatose locale lié à la fracturation tectonique.

Au sommet (bancs 19 à 24, 1 m) les marnes sont grises à verdâtres et se réduisent brusquement à de fins joints marneux. Les bancs calcaires présentent des surfaces très irrégulières avec des creux et des bosses et de fines bioturbations d'ordre centimétrique colmatées par des marnes jaunâtres. Le microfaciès est un wackestone à packstone à fins débris de bioclastes : échinodermes, bivalves, ostracodes, foraminifères, filaments, spicules d'éponges. Les grains de quartz et de glauconie sont présents.

Cette unité se termine par une importante surface de discontinuité très bioturbée et riche en faune fragmentée (bélemnites, ammonites, brachiopodes, gastéropodes...), reprise du faciès originel et baignant dans un matériel marneux jaunâtre qui colmate les irrégularités des niveaux sous-jacents. La faune d'ammonites usée et fragmentaire indique le Domérien (zones à *Algovianum*): *Amaltheus* gr. *margaritatus* (De Montfort), *Arietoceras* sp. ind.; *Leptaleoceras* sp. ind., *Phylloceras* sp. ind. et nombreux fragments usés et indéterminables. Il s'agit d'une discontinuité sédimentaire associée à une lacune du Domérien terminal.

L'ammonitico-rosso toarcien :

L'ammonitico rosso de l'Oued Zraa comprend trois termes superposés (Pl. I, fig. 1) :

- Le terme A est un ensemble carbonaté de couleur rouge d'environ cinq mètres d'épaisseur. Il comporte une succession de deux séquences (bancs 25 à 28 et 29 à 38) qui se répètent de la même manière. Chacune d'elles est constituée de minces bancs de calcaire noduleux (1 à 15 cm), à surfaces sculptées (Pl. I, fig. 6), séparées par de fins joints marneux, grumeleux et passant progressivement vers des marnes rouges très riches en nodules et grumeaux calcaires de même couleur. Des lentilles de calcaire pseudo-noduleux au sein des marnes correspondent à des wackestones à packstones à fins bioclastes : échinodermes, bivalves, ostracodes, foraminifères, filaments et spicules d'éponges. Les grains de quartz et de glauconie sont assez fréquents.

La faune est assez abondante, mais mal conservée. De la base vers le sommet on distingue les associations suivantes :

- Toarcien inférieur (zone à *Polymorphum*) (bancs 25 à 28) : *Dactylioceras polymorphum* Fuc. (3 ex.), *D. mirabile* (Fuc.) (5 ex.), *Hildaites striatus* Guex (2 ex.), *H. sp. ind.* (1 ex.), *Phylloceras sp. ind.* (4 ex.), ammonites sp. ind. Bivalve (1 ex.).

- Toarcien moyen (Zone à *Bifrons*) : Sous-zone à *Sublevisoni* (bancs 38) : *Hildoceras sublevisoni* Meist. (3 ex.), *H. sp. ind.* (9 ex.); *Mercaticeras sp. ind.* (1 ex.), *Nodicoeloceras sp. ind.* (1 ex.), *Hildaites ? sp. ind.* (1 ex.), *Phylloceras sp. ind.* (1 ex.), ammonites sp. ind. (15 ex.).

- Le terme B (bancs 39 à 42) est représenté par quelques bancs de calcaires grisâtres, délités, plus réguliers et plus ou moins massifs, reposant sur une semelle marneuse. Ils contiennent des ammonites calcaires à la base. Le microfaciès correspond à des calcaires recristallisés en calcite et très riches en filaments et en ammonitelles (ammonites juvéniles de taille millimétrique) remplies de micrite grisâtre à bioclastes. Les débris d'échinodermes, de bivalves et de gastéropodes sont présents. Vers le sommet (banc 41), c'est un packstone très riche en filaments et en débris d'échinodermes, avec de rares grains de glauconie.

A seulement quelques mètres sur la rive opposée de l'Oued, vers le S (coupe Zc, bancs 5 à 19) (Pl. I, fig. 3), ce terme B est plus épais et admet des intercalations marneuses verdâtres plus ou moins épaisses (3 à 13 cm). Les calcaires sont des packstones ou des grainstones très riches en filaments. Les bioclastes (échinodermes, bivalves, foraminifères, ostracodes, algues, gastéropodes) sont fréquents. Les derniers niveaux (15-18) sont très riches en ammonitelles remaniées remplies de micrite à bioclastes. Les ammonitelles sont de dimensions relativement plus grandes dans le niveau 17. On note également la présence de grains de quartz détritiques ou néoformés et des grains de glauconie. La recristallisation en calcite et la dolomitisation locale sont fréquentes. Le dernier banc (banc 18), d'épaisseur très irrégulière, présente une surface très ondulée avec des bosses et des creux d'ordre centimétrique colmaté par des ammonites de petite taille et des bioclastes grossiers.

Dans cette coupe complémentaire (Zc), la faune d'ammonites permet de distinguer la sous-zone à *Bifrons* (Toarcien moyen).

- Horizon à *Lusitanicum* (bancs 4 à 8) : *Hildoceras lusitanicum* Meist. (3 ex.), *H. crassum* Mitz (1 ex.), *H. sp. ind.* (16 ex.), *Phymatoceras sp. ind.* (1 ex.), *Phylloceras sp. ind.* (4 ex.), *Dactylioceratidae sp. ind.* (3 ex.), ammonites sp. ind. (62 ex.).

- Sous-zone à *Bifrons* (bancs 15 à 18) : *Hildoceras apertum* Meist. ? (1 ex.), *H. bifrons* (Brug.) (15 ex.), *H. sp. ind.* (59 ex.), *Nodicoeloceras sp. Guex* (4 ex.), *Nodicoeloceras sp. ind.* (3 ex.), *Harpoceras sp. ind.* (3 ex.), ammonites sp. ind. (15 ex.).

La faune livrée par le banc 15 est marneuse blanchâtre et de très petite taille. Ce sont des moulages internes usés et fragmentaires.

- Horizon à *Semipolitum* (base du niveau 19) :

Hildoceras semipolatum Buckmann (3 ex.), *H. sp. ind.* (9 ex.), *Phylloceras sp. ind.* (1 ex.), ammonites sp. ind. (7 ex.).

• Le terme C (banc 43) correspond à une dalle calcaire affleurant sur deux mètres d'épaisseur. Elle est caractérisée par son aspect stratonomique avec des bancs affectés de brutales variations d'épaisseurs (Pl. I, fig. 5). Ils se délitent en plaquettes d'ordre millimétrique à centimétrique qui montrent des structures entrecroisées dues notamment à l'alignement des lamines d'origine bioclastique. Le microfaciès est un packstone, dolomitisé par endroits, riche en grains de quartz, en échinodermes, en ammonitelles remplies de micrite et surtout en « filaments ». Ces derniers sont constitués de coquilles plates, très fines, de bivalves pélagiques de type *steinmania* (= *posidonomya*) accumulés en lits millimétriques généralement disposés de façon irrégulière (Pl. II, fig. 8). Des figures de glissement synsédimentaire de différentes échelles affectent le litage de ce terme.

3.2. Site 2, coupe Zd (Fig. 4)

Cette coupe se situe le long d'un affluent d'Oued Zraa, entre les points cotés (33,743093N; 4,630869W) et (33,743291N; 4,631896W). Malgré ses lacunes de visibilité, elle expose toutes les unités décrites précédemment avec quelques variations latérales dans le faciès et les épaisseurs (Fig. 4). Sa grande richesse en faune d'ammonites a permis d'établir une biostratigraphie de détail et de dater avec précision les différentes unités lithostratigraphiques présentes.

Le Substratum pliensbachien

Sur les dolomies massives du Lias inférieur (A), reposent des dolomies litées (B, 2 m) et des alternances marno-calcaires à bélemnites (bancs 1 à 28; 8 m), attribuées au Lias moyen. Dans le détail, les bancs dolomitiques, épais de 10 à 20 cm, sont de couleur rosâtre. Ils sont séparés par des interbancs marneux consolidés de même couleur et d'épaisseur allant de 5 à 10 cm. Le microfaciès est une dolosparite.

Au-dessus, reposent des marnes grises à jaunâtres et des calcaires gris clair bioclastiques à bélemnites avec de rares ammonites et brachiopodes non dégageables (bancs 1 à 28; 8 m). Les bancs calcaires sont d'épaisseur irrégulière (5 à 20 cm) et présentent des surfaces très ondulées en dômes et creux d'ordre décimétrique. Les creux sont colmatés par un matériel marneux jaunâtre très riche en bélemnites. Les derniers bancs sont riches en bélemnites, brachiopodes, gastéropodes et fragments d'ammonites calcaires. Leurs surfaces supérieures sont irrégulières, très bioturbées et présentent des encroûtements ferrugineux. On retrouve ici la discontinuité décrite dans la coupe Zb, avec ses intenses bioturbations et sa riche faune fragmentée et resédimentée. Les quelques fragments d'ammonites recueillis ont donné un âge Domérien : *Arietoceras sp.*, *Amalteus sp. ind.*

Le microfaciès varie du mudstone au packstone parfois riche en bioclastes : échinodermes, bivalves, foraminifères, spicules d'éponges, gastéropodes. Les grains de quartz et de glauconie sont présents. Certains niveaux sont riches en pellets (bancs 4, 11, 13 et 20), en matière organique et en fragments de bois (banc 4) et d'autres en extraclastes (banc 7).

L'ammonitico-rosso toarcien

• Le terme A (bancs 30 à 40) est constitué de calcaires rouges noduleux en bancs minces à surfaces sculptées et quelques fines assises de marnes grumeleuses. Les grumeaux correspondent parfois à des ammonites enrobées. Le microfaciès est un wackestone à packstone à bioclastes : bivalves, ammonites, foraminifères et gastéropodes, contenant des silts quartzeux. Il passe vers le sommet à un packstone très bioturbé, à filaments et à bioclastes (échinodermes, foraminifères, ostracodes, ammonites), contenant aussi des grains de quartz et des lithoclastes. Les épigénisations en glauconie et les recristallisations en calcite sont fréquentes.

Ce terme a livré une faune du Toarcien inférieur à moyen (Pl. III) :

– zone à Polymorphum (bancs 30 à 33) : *Dactylioceras polymorphum* (Fuc.) (2 ex.), *Dactylioceratidae sp. ind.* (8 ex.), *Calliphylloceras sp. ind.* (1 ex.), ammonites sp. ind. (2 ex.).

– zone à Bifrons (sous-zone à Sublevisoni) (bancs 34 à 40) : *Hildoceras sublevisoni* FUC. (10 ex.), *H. crasum* Mitz (4 ex.), *H. tethysi* Geczy (2 ex.), *H. sp. ind.* (10 ex.), *Phymatoceras sp. ?* (2 ex.), *Ph. sp. ind.* (4 ex.), *Nodicoeloceras sp. ind.* (8 ex.), *Telodactylites sp. ind.* (1 ex.), *Calliphylloceras nilssoni* Hebert (1 ex.), *C. sp. ind.* (2 ex.), *Phylloceras sp. ind.* (2 ex.), *Lytoceras sp. ind.* (4 ex.), ammonites sp. ind. (21 ex.).

• Le terme B (bancs 41 à 62), est relativement épais dans cette coupe. Il est représenté par une alternance de marnes et de calcaires, de couleur grisâtre (rouge par endroits) (Pl. I, fig. 4), extrêmement riches en ammonites disposées horizontalement. Ils constituent de véritables lumachelles à ammonites (Pl. I, figs 7-9). Les bancs calcaires pseudo-noduleux ont une épaisseur de 5 à 30 cm. Les assises marneuses admettent des lentilles calcaires dans certains niveaux.

Ces calcaires sont des packstones très riches en filaments et en bioclastes : échinodermes, bivalves, foraminifères, ostracodes, gastéropodes, ammonites. Les grains de quartz, de glauconie et les pellets (bancs 53) sont présents. La recristallisation en calcite, l'épigénisation en glauconie et la dolomitisation sont fréquentes. La bioturbation existe par endroits.

La faune d'ammonites, très abondante aussi bien dans les bancs calcaires que dans les interbancs marneux, est calcaire, marno-calcaire ou phosphatée et semble parfois remaniée par des organismes fouisseurs. Des centaines de spécimens ont été récoltés. Ils ont permis de reconnaître la sous-zone à Bifrons du Toarcien moyen (Pl. III et IV) :

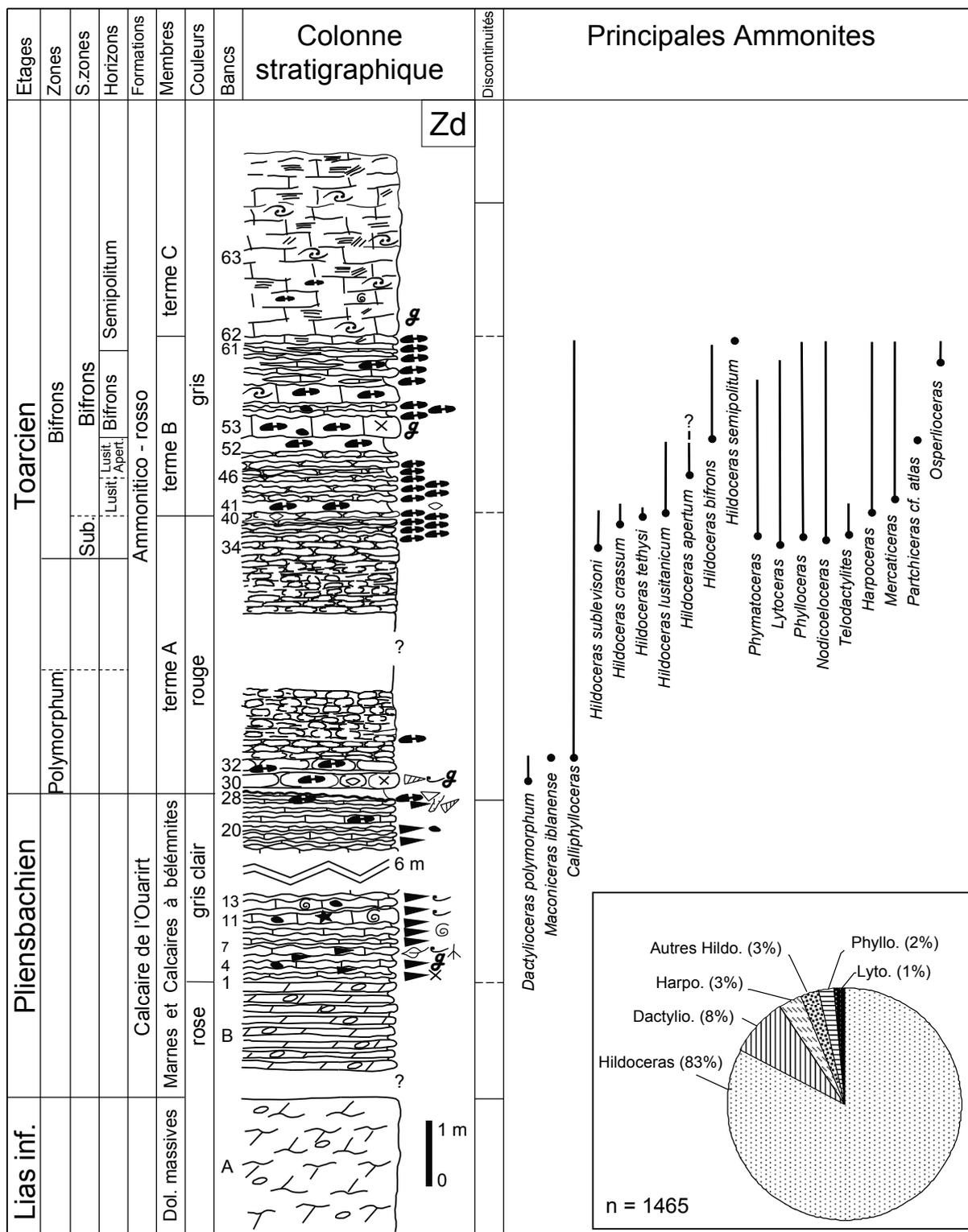


Fig. 4: Succession lithostratigraphique de l'ammonitico-rosso toarcien et son substratum dans le talweg latéral au SE d'Oued Zraa (site 2, coupe Zd).

En encarté: Composition faunique pendant le Toarcien moyen (Dactylio.: Dactylioceratidae, Harpo.: Harpoceratidae, Phyllo.: Phylloceratidae, Lyto.: Lytoceratidae, Hildo.: Hildoceratidae).

Fig. 4: Lithostratigraphic succession of Toarcian Ammonitico-rosso and its substratum in the lateral talweg in the SE of Oued Zraa (Site 2, Zd section).

In inset: relative abundances of the main groups of ammonites during middle Toarcian (Dactylio.: Dactylioceratidae, Harpo.: Harpoceratidae, Phyllo.: Phylloceratidae, Lyto.: Lytoceratidae, Hildo.: Hildoceratidae).

- zone à bifrons (banc 41): *Hildoceras lusitanicum* Meist. (28 ex.), *H. sublevisoni* FUC. ? (4 ex.), *H. crassum* Mitz (5 ex.), *H. tethysi* Geczy ? (3 ex.), *H. sp. ind.* (36 ex.), *Harpoceras mediterraneum* (Pinna) (1 ex.), *Nodicoeloceras sp. ind.* (2 ex.), *Telodactylites sp. ind.* (1 ex.), *Peronoceras fibulatum* (Sow.) (1 ex.), *P. sp. ind.* (4 ex.), Dactylioceratidae sp. ind. (17 ex.), *Harpoceras sp.* (1 ex.), *Calliphylloceras sp. ind.* (1 ex.), *Costiphylloceras sp. ind.* (1 ex.), *Phylloceras sp. ind.* (1 ex.), ammonites sp. ind. (8 ex.).
- horizon à Lusitanicum (bancs 42 à 46): *Hildoceras lusitanicum* Meist. (48 ex.), *H. sp. ind.* (261 ex.), *H. sp.* (Sow.) (1 ex.), *Nodicoeloceras sp.* (2 ex.), *Telodactylites sp. ind.* (1 ex.), Dactylioceratidae sp. ind. (10 ex.), *Phymatoceras formosum* Elmi & Rulleau (1 ex.), *Phymatoceras elegans* (Merla) (2 ex.), *Phymatoceras sp.* (4 ex.), *Phymatoceras sp. ind.* (2 ex.), *Mercaticeras sp. ind.* (1 ex.), *Harpoceras sp. ind.* (2 ex.), *Polyplectus sp. ind.* (1 ex.), *Calliphylloceras sp. ind.* (4 ex.), *Costiphylloceras sp. ind.* (1 ex.), *Lytoceras sp. ind.* (1 ex.), ammonites sp. ind. (76 ex.).
- sous-zone à Bifrons (bancs 47 à 52): *Hildoceras lusitanicum* Meist. (129 ex.), *H. apertum* Gabilly (27 ex.), *H. sp. ind.* (181 ex.), *Harpoceras mediterraneum* (Pinna) (2 ex.), *H. sp.* (Sow.) (1 ex.), *Nodicoeloceras sp.* (2 ex.), *Nodicoeloceras sp. ind.* (17 ex.), Dactylioceratidae sp. ind. (13 ex.), *Phymatoceras sp.* (1 ex.), *Phymatoceras sp. ind.* (2 ex.), *Mercaticeras sp. ind.* (2 ex.), *Polyplectus sp. ind.* (1 ex.), *Calliphylloceras sp. ind.* (4 ex.), *Lytoceras sp. ind.* (2 ex.), ammonites sp. ind. (55 ex.).
- horizon à Bifrons (bancs 53 à 62): *Hildoceras bifrons* (Brug.) (6 ex.), *H. apertum* Gabilly ? (2 ex.), *H. sp. ind.* (358 ex.), *Harpoceras sp.* (1 ex.), *Harpoceras magrebense* Gueux (1 ex.), *Harpoceras cf. soloniacense* Lissajous (4 ex.), *H. (Maconiceras) soloniacense* Liss. (3 ex.), *Harpoceras subplanatum* (Oppel) (10 ex.), *Harpoceras sp. ind.* (14 ex.), *Polyplectus sp. ind.* (1 ex.), *Nodicoeloceras crateriforme* Mon. (2 ex.), *N. choffati* Renz (3 ex.), *N. spicatum* (Buck.) (2 ex.), *N. dayi* (Reyez) (3 ex.), *N. sp. ind.* (6 ex.), Dactylioceratidae (14 ex.), *Telodactylites sp.* (1 ex.), *Peronoceras fibulatum* (Sow.) (1 ex.), *Mercaticeras umbilicatum* (Buck.) (1 ex.), *Mercaticeras sp. ind.* (4 ex.), *Phymatoceras sp.* (1 ex.), *Ph. sp. ind.* (5 ex.), *Osperlioceras sp. ind.* (7 ex.), *Calliphylloceras nilsoni* Hebert (9 ex.), *C. sp. ind.* (2 ex.), *Phylloceras sp. ind.* (4 ex.), *Lytoceras toarcense* Rulleau (10 ex.), *L. sp. ind.* (2 ex.), ammonites sp. ind. (207 ex.).
- Le terme C (banc 63), épais d'environ trois mètres, est toujours représenté par des calcaires à laminites bioclastiques qui se délitent en plaquettes. Dans leur partie inférieure où ils admettent des niveaux pseudo-noduleux, peu épais, ces calcaires sont riches en ammonitelles (Pl. II, fig. 9). La partie supérieure présente des structures en mamelons correspondant à des «hummocky cross stratifications» (Pl. II, fig. 6). Les figures de glissement

synsédimentaires sont très fréquentes; la présence de figures de charges (Pl. II, fig. 7) indique que des transports de matériaux se sont effectués dans des sédiments non indurés.

Le microfaciès est un packstone à grainstone très riche en «filaments» fins et alignés dans le même sens, ce qui témoigne d'un milieu à courant laminaire. Ce biofaciès à *steinmania* (= *posidonomya*) (Pl. II, fig. 8) se complète de divers bioclastes: échinodermes, bivalves, foraminifères, gastéropodes et ammonites. Les grains de glauconie existent. La recristallisation en calcite, la dolomitisation et la ferruginisation sont assez fréquentes.

4. BIOSTRATIGRAPHIE

La succession biostratigraphique est effectuée par référence à la zonation standard établie par Elmi *et al.* (1997) pour le Toarcien méditerranéen et NW européen.

Toarcien inférieur

La zone à Polymorphum est bien établie. Elle est documentée par *Dactylioceras polymorphum* (3 ex.) et *D. mirabile* (5 ex.) dans les premiers niveaux de l'ammonitico-rosso, terme A (coupe Zb, bancs 25 à 28 et coupe Zd, bancs 30 à 33). La zone à Levisoni est, par contre, difficile à distinguer. La présence d'*Hildaites striatus* (2 ex.) (coupe Zb, banc 28) pourrait témoigner de son existence si l'on considère sa distribution dans le Moyen Atlas et les Beni Snassen marocains (Benshili, 1989; El Hammichi *et al.*, 2008; Ouahhabi, 1994).

Toarcien moyen

La limite inférieure de la zone à Bifrons est placée à l'apparition des premiers *Hildoceras sublevisoni* qui définissent la sous-zone à Levisoni où ils sont associés à *Hildoceras crassum* et *H. tethysi* (coupe Zd, bancs 34 à 40), indiquant une condensation des horizons à Sublevisoni et à Tethysi.

Le passage à la sous-zone à Bifrons est placé sous les premiers *Hildoceras lusitanicum*, bien que dans la coupe Zd (banc 41), la base de l'horizon à Lusitanicum montre la coexistence d'*Hildoceras lusitanicum* avec *H. sublevisoni*, *H. crassum* et *H. tethysi*; un mélange qui rend compte des intenses perturbations sédimentaires (condensations, bioturbations et remaniements).

La présence d'*Hildoceras lusitanicum* seule dans les bancs 42 à 46 permet de les attribuer à l'horizon à Lusitanicum, ce qui n'est pas le cas pour les bancs 47 à 52 où *Hildoceras lusitanicum* coexiste avec *H. apertum*. La distribution de ces deux taxons, censés être superposés selon les successions de Gabilly (1976) qui ne sont pas à l'abri des critiques (Neige & Rouget, 2002), montre qu'une coexistence de taxons supposés se succéder dans le temps est possible.

Le banc 53 enregistre l'apparition d'*Hildoceras bifrons* marquant la base de l'horizon à bifrons, quoi que là en-

core, ce taxon soit mis en association avec *H. apertum* par l'action de la bioturbation et du remaniement. L'horizon à bifrons s'étend sur les bancs sus-jacents jusqu'au banc 61.

L'horizon à *Semipolium* n'est représenté que par quelques exemplaires d'*Hildoceras semipolium* (3 ex.) livrés par le banc 19 de la coupe Zc et un individu solitaire recueilli à la base du terme C (coupe Zd) «Calcaires à filaments» beaucoup moins fossilifères.

5. CARACTÈRES PALÉONTOLOGIQUES, PALÉOÉCOLOGIQUES ET CADRE PALÉOGÉOGRAPHIQUE DE L'AMMONITICO-ROSSO DE L'OUED ZRAA

5.1. Approche paléoécologique

Le passage brutal du faciès du Domérien à celui du Toarcien est souligné par la lacune du Domérien terminal. Les différents niveaux de l'ammonitico-rosso se succèdent d'une façon rythmique depuis la base du Toarcien inférieur (zone à Polymorphum) jusqu'au milieu du Toarcien moyen (horizon à *Semipolium* au moins). Les calcaires sont entrecoupés de niveaux plus marneux marquant probablement des périodes brèves d'accalmie et de mobilisation du sédiment soit par glissements sur les pentes, soit par bioturbation. Cette rythmicité est à l'origine de petites séquences à l'intérieur du faciès ammonitico-rosso. Les bancs qui surmontent les niveaux marneux sont généralement plus épais et moins noduleux que ceux qui les suivent. Cela peut correspondre à un dépôt dans un milieu plat et calme; au contraire, les sédiments riches en nodules et en grumeaux indiquent une sédimentation décline, très bioturbée par les organismes fouisseurs.

A la fin de chaque séquence élémentaire, on constate une condensation. Les faunes d'ammonites sont parfois remobilisées et brassées par la bioturbation, ce qui engendre des anomalies dans les successions fauniques. Le problème se complique quand il y a combinaison du démantèlement des bancs, de la bioturbation, du transport et de la resédimentation. Cela peut provoquer de véritables mélanges, ce qui complique davantage l'emplacement des limites entre les sous-zones d'ammonites, surtout au Toarcien moyen.

L'usure (moulages internes) et l'état fragmentaire et déformé des ammonites rendent parfois difficile la détermination des espèces et des centaines d'ammonites restent indéterminables. Ces caractères peuvent être dus à plusieurs facteurs: remaniement et transport des coquilles après dépôt, écrasement des coquilles par la pression pendant la diagenèse du sédiment. La petite taille des ammonites à l'âge adulte (microconques) surtout à la fin de la zone à Bifrons (Horizon à *Semipolium*) est probablement due à l'isolement relatif du milieu (Mignot *et al.*, 1993). Une partie de la faune est juvénile. L'existence d'ammonitelles dans certains niveaux indique la mort

subite des ammonites jeunes, due probablement à un isolement très accusé provoquant des conditions de vie assez défavorables pour les jeunes (Wendt, 1971; Elmi, 1981b).

Dans l'ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, l'abondance des faunes d'ammonites et la prédominance des peuplements platycônes (*Hildoceras* 83%) reflètent le caractère de pente (Almêras & Elmi, 1982; Elmi, 1985). Les formes oxycônes (Harpoceratinae 3%) et les formes serpenticônes (Dactyloceratidae 8%) sont présentes. La présence des Phylloceratinae (2%) et des Lytoceratinae (1%) est accidentelle dans ce type d'environnement. A titre de comparaison, en Algérie nord-occidentale, les oxycônes sont représentés par des proportions très variables (5 à 55% dans l'ammonitico-rosso de Sekika). Les mêmes variations affectent les Phylloceratinae et les Lytoceratinae (0 à 75% à Djbel Nador). De telles fluctuations sont attribuées à des arrivées épisodiques de faunes vivant normalement plus au large (Elmi *et al.*, 1974; Almêras & Elmi, 1982).

5.2. Interprétations des paléoenvironnements

5.2.1. Bathymétrie et hydrodynamisme du milieu

La bathymétrie est l'un des aspects les plus discutés dans ce type de faciès (Elmi, 1981a; Elmi & Ameer, 1984). La présence de marnes et de calcaires marneux à faunes pélagiques, ainsi que de pellets dans les calcaires noduleux témoigne d'un milieu marin calme, au-dessous de la zone d'action des vagues. Toutefois, la coexistence de particules de bassin profond (filaments) et de plate-forme ou de haut fond (échinodermes, foraminifères benthiques, gastéropodes, algues, glauconie et silts) témoigne d'un mélange de faciès. Ceci implique la présence des courants marins, de tempêtes et/ou de courants de turbidité. Par conséquent, la bathymétrie demeure une valeur incertaine, tandis qu'un hydrodynamisme extrêmement fluctuant paraît être le principal paramètre physique associé à la genèse de l'ammonitico-rosso.

5.2.2. Evolution des paléoenvironnements au cours du temps

Dans sa partie inférieure (Toarcien inférieur et début du Toarcien moyen), l'ammonitico-rosso de l'Oued Zraa affiche une évolution verticale rythmique qui fait alterner des ammonitico-noduleux et grumeleux avec des ammonitico-rosso calcaires en bancs sculptés et bioturbés. Cette évolution s'inscrit dans une dynamique de sédimentation décline le long de pentes, plus ou moins faibles, engendrées par des saccades tectoniques. Ces dernières sont liées aux premiers stades d'individualisation de bassins et de sous-bassins séparés par des zones résistantes. Pendant le Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons), le fa-

ciès évolue vers un ammonitico-rosso marneux représenté par une alternance de marnes et de calcaires pseudo-noduleux, bioturbé, plus développé vers l'est. Ceci peut traduire un fond plat et une stabilité tectonique relative et temporaire, mais peut également être mis en rapport avec l'élévation générale du niveau marin au début du Toarcien moyen.

Le passage progressif vers le haut et latéralement vers l'est aux «calcaires à filaments» traduit une sédimentation carbonatée qui tend à effacer les différences topographiques sous-marines sur la plate-forme nord-occidentale. L'expansion de ces calcaires dénote des communications permanentes avec le bassin ouvert. Le développement des «hummocky cross stratifications» à la partie supérieure des «calcaires à filaments» témoigne d'un hydrodynamisme élevé, qui peut être lié à des événements exceptionnels (ouragans, tsunamis...), mais peut également relever de forts courants marins balayant régulièrement l'aire de sédimentation. La persistance d'une instabilité tectonique est attestée par des structures de glissements synsédimentaires le long des paléopentes.

5.3. Modèle de dispositif structuro-sédimentaire associé à la formation de l'ammonitico-rosso

Une reconstitution schématique du cadre paléogéographique et paléostructural de l'ammonitico-rosso de l'Oued Zraa et du cortège associé est proposée en Figure 5.

Le fonctionnement du dispositif est d'abord lié au découpage en lanières structurales étroites, subparallèles à l'ANMA et de plus en plus subsidentes à l'approche du bassin marin situé au SE. Ainsi, les faciès marneux, les «calcaires à filaments» et l'épaisseur d'ensemble des dépôts croissent globalement du NW au SE.

Les «calcaires à filaments» associés aux marnes jaunes ou recouvrant la zone des ammonitico-rosso sont révélateurs d'un hydrodynamisme élevé. A l'échelle macroscopique (Pl. I, fig. 5; Pl. II, fig. 7), comme à l'échelle microscopique (Pl. II, fig. 8), l'écoulement et le fluage des matériaux paraît s'effectuer selon différentes directions.

Dans la zone des ammonitico-rosso s'observent, outre des déformations liées aux déformations alpines (Pl. II, fig. 1), de fréquents indices de déformations synsédimentaires : failles hydroplastiques (Pl. II, figs 2, 5), «plis» métriques affectant les niveaux marneux (Pl. II, fig. 4), discordances internes (Pl. II, fig. 3) témoignant de basculements du substrat en cours de sédimentation. La présence d'éventails de sédimentation ouverts en direction de l'WNW et de plusieurs figures de glissements indique que des basculements se produisaient préférentiellement en direction opposée au bassin marin. Ce dispositif ménageait ainsi des aires de plus en plus protégées, voire confinées en direction de la plate-forme nord-occidentale.

Ce dispositif en lanières s'est trouvé interrompu et décalé au niveau de la paléofaille transverse de l'Oued Zraa. De

part et d'autre de la faille néogène, se retrouve la sédimentation de marnes grises de bassin, mais elle évolue rapidement vers le sud. Les marnes grises présentent d'abord une intercalation de calcaires argileux pétris d'ammonites ferrugineuses, puis passent aux marnes jaunes, aux «calcaires à filaments» et enfin à l'ammonitico-rosso. Il existait donc une voie de communication vers le nord qui permettait une pénétration des influences marines ouvertes sur la plate-forme et corrélativement un hydrodynamisme élevé, une relative oxygénation des zones abritées et un apport trophique.

Dans ce contexte, l'ammonitico-rosso de l'Oued Zraa apparaît dans une zone localisée, insérée dans un coin de bloc relativement surélevé, à l'intersection de deux linéaments tectoniques actifs (ANMA et paléofaille transverse). Cette situation paléogéographique et paléoécologique originale devait assurer parfois des conditions favorables pour la protection, la reproduction des faunes d'ammonites notamment (nursery à ammonitelles) et leur dispersion (liaison avec la mer ouverte) et parfois des fonctions défavorables avec un fort hydrodynamisme doublé d'une instabilité du substrat.

6. PLACE DES FACIÈS AMMONITICO-ROSSO DANS LA SÉDIMENTATION TOARCIEUNE

6.1. Les ammonitico-rosso, témoins de la mobilité du segment NE de l'accident nord-moyen-atlasique

Au SW de l'Oued Zraa, le Toarcien n'est pas représenté dans la zone de l'ANMA et les marnes grises du sillon disparaissent progressivement du NE vers le SW (El Arabi, 2001) à l'approche du «Haut fond de Boulemane» (El Arabi *et al.*, 2001).

Au NE de l'Oued Zraa (1), quatre autres affleurements toarciens de type ammonitico-rosso (figurés par une ammonite en Fig. 1A) jalonnent le trajet de l'ANMA jusqu'à proximité de la ville de Taza.

– (2) 8 km à l'E de l'Oued Zraa, en rive droite de la vallée du Sebou (SW du Jbel Hamda). La série marneuse toarcienne située en bordure occidentale du sillon moyen atlasique possède quelques mètres de bancs calcaires rubéfiés, à faciès noduleux, riches en ammonites mal conservées (Charrière, 1990); ce niveau repère n'existe pas au SE du Jbel Hamda plus éloigné de l'ANMA.

– (3) 5 km au NE de Ribats el Kheir (Aïn Marhaz). Cette zone du Causse moyen atlasique se caractérise par la présence d'une série de marnes grises toarciennes dont l'épaisseur atteint près de 100 m. Dans sa partie inférieure, quelques intercalations calcaréo-marneuses rougeâtres sont localement pétries d'ammonites dont *Hildoceras* gr. *Bifrons* (Charrière, 1990).

– (4) 14 km au NE de Ribats El Kheir, à l'E du massif du Tazekka (Aïn Tislit). Dans ce secteur d'intersection entre l'ANMA et un accident transverse se rencontre

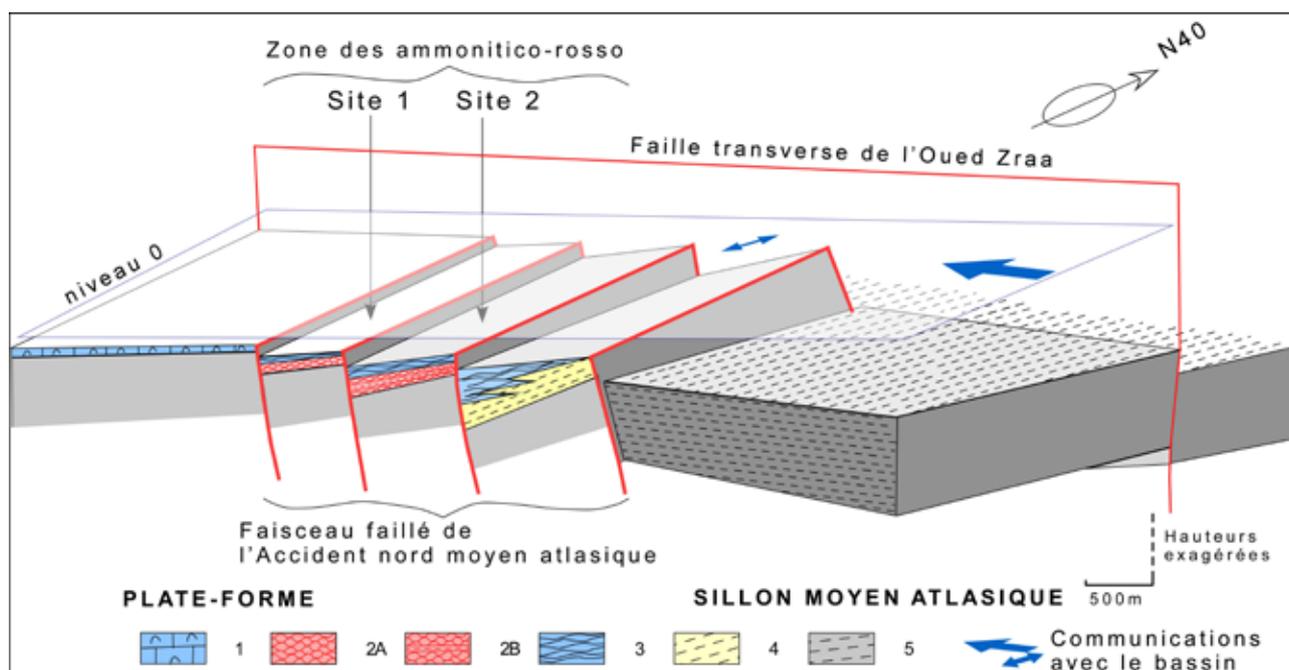


Fig. 5: Modèle de dispositif structuro-sédimentaire associé à la formation de l'ammonitico-rosso toarcien du site de l'Oued Zraa.

Fig. 5: Tectono-sedimentary compartmentation model associated with the building of the Toarcian ammonitico-rosso from Oued Zraa area.

une série de quelques mètres constituée par l'enchaînement d'un ammonitico-rosso marneux, d'un ammonitico-rosso calcaire puis d'une calcarénite ferrugineuse. Cette série date du sommet du Toarcien inférieur (sous-zone à *Falciferum*) et de la base du Toarcien moyen (sous zone à *Sublevisoni*) (Sabaoui, 1987).

- (5) Au NE du Tazekka, près de la terminaison de l'ANMA (J. Toumzit). Sur cette partie du Causse moyen atlasique existe un placage épais d'environ 5 m constitué de calcaires noduleux et de marnes rouges riches en ammonites. L'ensemble date également du sommet du Toarcien inférieur et de la base du Toarcien moyen (Robillard, 1981).

Cet alignement de dépôts de type ammonitico-rosso le long de la bordure NW du sillon moyen atlasique (Fig. 1A) a été intégré au schéma paléogéographique de la Figure 6. Il atteste du rôle paléogéographique et structural de l'ANMA qui a séparé dans le Moyen Atlas central et septentrional le bassin téthysien subsident d'une plate-forme plus stable située au NE.

6.2. Aperçu sur la sédimentation toarcienne du Moyen Atlas et de ses bordures

Dans le NW du Moyen-Atlas plissé, le Toarcien est représenté par les formations marneuses grises associées aux bassins profonds et ombilics (Formations de Bechyne et d'Issouka) (Bassoulet *et al.*, 1991) qui renferment les mêmes espèces d'ammonites (Guex, 1973; Benschili,

1989) que celles rencontrées dans l'ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, mais dans des proportions distinctes. Dans la partie septentrionale du Moyen Atlas plissé, le Toarcien inférieur se termine par un «niveau brun repère» (Colo, 1962) interprété comme un dépôt turbiditique (Akhssas, 1993). Il s'agit d'un témoin de la crise anoxique mondiale associée ici à une instabilité tectonique locale. Ce niveau repère est corrélé à la partie médiane du terme A de l'ammonitico-rosso de l'Oued Zraa; cet événement n'ayant pas été repéré sur le terrain serait peut-être décelable par les approches géochimiques.

Sur la coupe d'Issouka (environ 40 km au SE de l'Oued Zraa), la mieux étudiée du Moyen Atlas par une approche stratigraphique intégrée (Bassoulet *et al.*, 1991), la crise anoxique n'a pas été formellement identifiée, mais un renouvellement faunique lui est attribué.

Dans le Moyen Atlas méridional, sur le Haut fond de la Haute Moulouya, le Toarcien, souvent lacunaire, est représenté par des formations calcaireuses de rampes et de vasières de bordures: les «Couches de Mibladène» (Elmi & Benschili, 1987; Benschili, 1989). Le Toarcien inférieur (terme inférieur des «Couches de Mibladène») est représenté par des dépôts de marnes azoïques et versicolores qui peuvent constituer une expression locale de la crise anoxique.

Au cours du Toarcien inférieur, la différenciation structurale accompagne et, parfois, contrarie la montée globale du niveau marin (Hallam, 1981). On note alors, à toute échelle, une accentuation des différences entre zones subsidentes qui s'approfondissent et zones résistantes qui

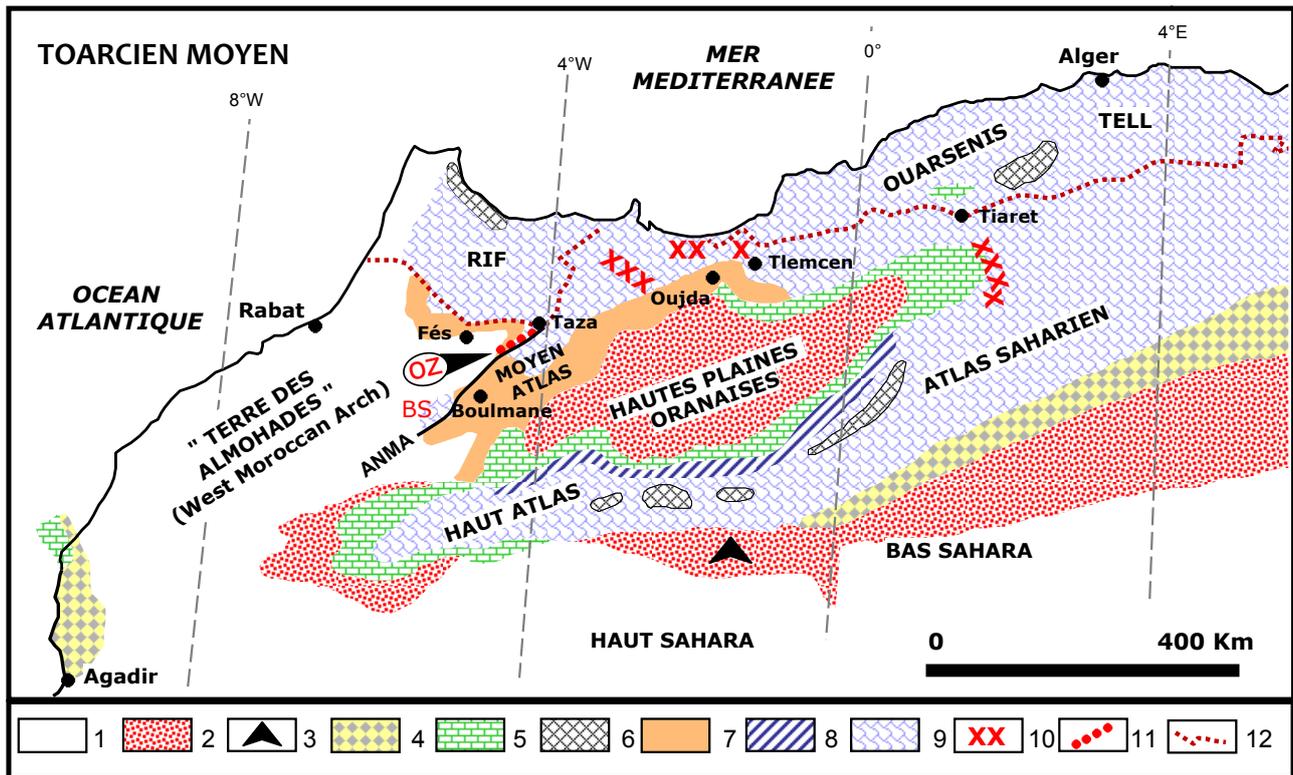


Fig. 6: Carte paléogéographique de l'ouest du Maghreb au Toarcien moyen, d'après Elmi, 1999, avec rajout des ammonitico-rosso du Moyen Atlas septentrional (ce travail). Adjonction du bassin du Selloum dans le SW du Moyen Atlas (travaux de: El Arabi *et al.*, 2001; Charrière *et al.*, 2011; El Hammichi & Tabyaoui, 2015), et positionnement de la « West Moroccan Arch » (Saddiqi *et al.*, 2009; Frizon de Lamotte *et al.*, 2009; Michard *et al.*, 2011).

1. Terre émergées, 2. Sebkhas et bassins continentaux, 3. Evaporites, 4. Plates-formes internes, 5. Plates-formes externes, rampes, 6. Hauts-fonds, îles, 7. Plates-formes externes ferrugineuses, 8. Pentas, 9. Bassins, gouttières, Ombilics, BS: Bassin de Selloum, 10. Ammonitico-rosso et faciès noduleux, 11. Ammonitico-rosso du segment Oued Zraa (OZ)-Taza associé à l'Accident nord-moyen atlasique (ANMA), 12. Front de la chaîne alpine.

Fig. 6: Palaeogeographical map of western Maghreb during middle Toarcian, according to Elmi, 1999 with addition of northern Middle Atlas Ammonitico-rosso (this work). Adding the Selloum basin in the SW of the Middle Atlas (works of: El Arabi *et al.*, 2001; Charrière *et al.*, 2011; El Hammichi & Tabyaoui, 2015) and positioning of the « West Moroccan Arch » (Saddiqi *et al.*, 2009; Frizon de Lamotte *et al.*, 2009; Michard *et al.*, 2011).

1. Emerged land, 2. Sebkhas and continental basins, 3. Evaporites, 4. internal platforms, 5. external platforms, ramps, 6. shoals, islands, 7. external and ferruginous platforms, 8. slopes, 9. basins, gutters, umbilics, BS: Selloum Basin, 10. Ammonitico-rosso and nodular facies, 11. Ammonitico-rosso of Oued Zraa (OZ)-Taza area associated to the north middle atlasic fault (ANMA), 12. Front of the Alpine chain.

tendent à se relever. L'opposition entre les faciès de la zone de l'oued Zraa et ceux du sillon moyen-atlasique en est une manifestation. A l'échelle globale, ce sont de tels processus qui exagèrent (dans les ombilics) ou contraignent (sur les seuils) les effets de la crise anoxique du Toarcien inférieur.

Dans la partie SW du Moyen Atlas, au-delà du « Haut fond de Boulemane » se rencontre un autre bassin marin toarcien, le « Bassin du Selloum » (El Arabi, 2001; El Arabi *et al.*, 2001) avec des séries réduites calcaires, calcaréo-gréseuses ou calcaréo-marneuses du Toarcien moyen et supérieur. Ces séries se dilatent et les faciès

deviennent marins plus ouverts en direction du SW. Vers l'ouest, ne se rencontrent que des terrains anté-toarciens, mais des travaux récents (Saddiqi *et al.*, 2009) montrent qu'une couverture triasico-jurassique réduite (mais non nulle) avait existé dans ce secteur avant d'être érodée lors de l'émergence jurassico-crétacée. Ces données conduisent à modifier le schéma paléogéographique classique de la Fig. 6 en considérant la « Terre des Almohades », non pas comme une zone émergée, mais comme un haut fond nommé « West Moroccan Arch » (Frizon de Lamotte *et al.*, 2008 et 2009; Michard *et al.*, 2011) ayant séparé les sillons atlasiques téthysiens de l'Atlantique central.

6.3. Instabilité tectonique toarcienne dans le Moyen Atlas

Si les ammonitico-rosso du Moyen Atlas central et septentrional sont des marqueurs du fonctionnement d'un accident tectonique, tous les linéaments tectoniques actifs ne sont pas associés à des ammonitico-rosso. Dans le Moyen Atlas plissé, la mobilité de certaines lignes structurales se marque par la présence de discordances intra-formationnelles affectant le Toarcien en bordure de certaines rides, comme au Jbel Amrar (Fedan, 1993) ou de biseautages progressifs, comme sur les flancs du Jbel Tichoukht (Benshili, 1989; Charrière, 1990). Dans le SW du Moyen Atlas, la distension se manifeste le long d'accidents dont les zones hautes sont parfois associées à des récifs (accident de Mermel, El Hammichi *et al.*, 2002), alors que des paléoescapelements sont jalonnés par des zones de glissements synsédimentaires (Aguelmam Azougarh, El Hammichi *et al.*, 2007). Au final c'est tout un réseau de failles directionnelles et de failles transverses subméridiennes qui a conditionné la dynamique du bassin toarcien du SW du Moyen Atlas (El Hammichi & Tabyaoui, 2015), mais aucun site ne fut favorable au développement d'ammonitico-rosso. Il en est de même dans le Haut Atlas central.

6.4. Analogies des ammonitico-rosso du Moyen Atlas avec l'avant-pays rifain oriental et l'Algérie nord-occidentale

6.4.1. Avant-pays rifain oriental

Au NW d'Oujda et au S de Berkane s'étend le massif paléozoïque des Béni Snassen avec des dépôts liasiques bien exposés sur les versants nord et sud. Les études stratigraphiques et paléontologiques d'Ouahhabi (1994) détaillent l'évolution d'un ammonitico-rosso (des Béni Menngouch) d'extension plurikilométrique.

- L'apparition au NW sur environ 5 km d'une première génération d'ammonitico-rosso au Toarcien inférieur (zone à *Serpentinus*);
- L'expansion de l'ammonitico-rosso au Toarcien moyen sur l'ensemble du versant nord, soit plus d'une vingtaine de kilomètres et l'apparition d'un second ammonitico-rosso sur le versant sud des Beni Snassen;
- La régression du faciès ammonitico-rosso au Toarcien supérieur-Aalénien basal (zone à *Opalinum*) avec des limites paléogéographiques qui se restreignent et avoisinent celles du Toarcien inférieur.

Sur le plan lithologique, les dépôts sont constitués d'alternances marno-calcaires colorées pouvant atteindre 45 m d'épaisseur; les séries évoluent d'un type ammonitico-argileux dilaté à un type ammonitico-rosso calcaire condensé.

Sur le plan paléontologique, l'auteur souligne, à côté de l'abondance des faunes, la petite taille des ammonites

et la fréquence des formes tératologiques, marqueurs de conditions d'isolement du bassin, même pendant l'approfondissement associé à l'arrivée de la faune à *Hildoceras*.

6.4.2. Ouest algérien

Au NW de Tlemcen (Fig. 6), sur la bordure orientale du massif des Traras à cœur paléozoïque, se développe l'ammonitico-rosso des Traras [= formation de l'ammonitico-rosso de Sekika (Elmi *et al.*, 1974)] du Toarcien moyen à Aalénien inférieur. Il s'étend sur quelques dizaines de mètres avec une épaisseur atteignant les 15 m. Cette formation est largement marneuse dans sa partie inférieure avec des bancs calcaires minces d'échelle centimétrique et avec des nodules résiduels; ils passent rythmiquement vers le haut à des calcaires pseudo-noduleux et bioturbés. En fin de formation, les conditions deviennent régressives (Elmi, 1981b). Ce type d'ammonitico-rosso est lié à une paléopente instable (Elmi, 1985). Le cadre paléogéographique d'ensemble est celui de la marge septentrionale du domaine tlemcenien séparé du sillon tellien par des reliefs étroits (Guardia, 1967, 1975) et tectoniquement actif (Elmi & Benest, 1978; Elmi, 1979).

Au S de Tiaret (Fig. 6), se rencontre un second alignement d'ammonitico-rosso. Au Djebel Nador, un autre type d'ammonitico-rosso argileux est interprété comme associé à un paléoenvironnement d'ombilic confiné en bas d'escarpement tectonique actif (Elmi, 1985).

7. CONCLUSIONS

Les études paléontologiques et sédimentologiques détaillées des dépôts toarciens de la région de l'Oued Zraa permettent d'établir l'existence d'un véritable ammonitico-rosso marno-calcaire associé à un cortège marin (glauconie, «calcaires à filaments», marnes de bassin). Cet ammonitico-rosso représente un dépôt condensé, d'épaisseur limitée à quelques mètres qui évolue verticalement et latéralement en direction du bassin vers un ammonitico-rosso marneux. Les ammonites ont permis de dater la zone basale du Toarcien (*Polymorphum*) et les divers horizons (*Sublevisoni*, *Lusitanicum*, *Bifrons* et *Semipolitum*) de la zone à *Bifrons* (Toarcien moyen). La faune d'ammonite est quantitativement abondante, mais qualitativement peu diversifiée et largement dominée par les *Hildoceratidés*. Le nanisme est généralisé et l'état très bioturbé, usé et fragmenté des spécimens d'ammonites plaident en faveur d'un isolement écologique des milieux de dépôt associé à un hydrodynamisme élevé. Les caractères sédimentologiques des dépôts témoignent également de paléoenvironnements instables.

Cette instabilité est mise en rapport avec la situation particulière de l'Oued Zraa à l'intersection de deux linéaments structuraux importants: la Zone de l'Accident Nord Moyen Atlasique (ANMA) et une paléofaille trans-

verse. Ce réseau est à l'origine d'un dispositif paléogéographique original comportant une tête de bloc surélevée et intensément faillée, dont le revers est propice à un piégeage des sédiments et de la faune. Ce dispositif explique que l'ammonitico-rosso de l'Oued Zraa ait été le siège d'un isolement écologique et géographique sur le rebord de la plate-forme externe, tout en subissant les influences du bassin marin avoisinant.

Un alignement de dépôts de type ammonitico-rosso ponctuellement répartis sur le segment le plus septentrional de la zone de l'ANMA jalonne une limite paléogéographique et structurale majeure à l'articulation d'une plate-forme stable et du sillon subsident. Ailleurs dans le Moyen Atlas, ainsi que dans le Haut Atlas, de nombreuses lignes structurales ont eu une activité détectable par d'autres marqueurs (récifs, slumps, olistolithes...), mais sont dépourvues d'ammonitico-rosso.

L'ammonitico-rosso de l'Oued Zraa s'apparente aux véritables ammonitico-rosso toarciens marno-calcaires et argileux qui sont bien développés dans l'avant-pays rifain oriental (Beni Snassen) et dans l'Ouest algérien (Traras, Tiaret). Toutefois, dans le Moyen Atlas, ils ne constituent que des dispositifs ponctuels d'extension limitée. La rareté des ammonitico-rosso sur les bordures

ou sur les hauts fonds du sillon moyen atlasique et leur absence en périphérie du sillon haut atlasique, relèvent probablement de l'intense activité tectonique associée au rifting générateur de ces deux diverticules sud-téthysiens.

REMERCIEMENTS

A travers ce document, nous souhaitons rendre hommage aux grands géologues disparus que sont Renaud du Dresnay, Serge Elmi et Anne Faure-Muret qui sont venus nous accompagner et nous faire part de leur expérience sur le site de l'Oued Zraa. Nous adressons nos plus sincères remerciements à Carine Lézin et Isabelle Rouget pour les retours positifs et constructifs de leurs relectures qui ont permis d'améliorer le manuscrit.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Akhssas A. 1993. Le Moyen-Atlas nord-oriental au Lias: contexte géodynamique méso-cénozoïque; comparaison avec le bassin de Guercif et les Hauts Plateaux. *Thèse 3^e cycle. Université Mohamed V, Rabat, Maroc*, 202 pp.

Planche I

Aspects à l'affleurement de l'ammonitico-rosso toarcien de l'Oued Zraa et de son substratum domérien.

1, 2, 3, 5 et 6: ammonitico-rosso calcaire du site 1; 4, 7, 8 et 9: ammonitico-rosso marneux du site 2.

Fig. 1: Succession d'ensemble (Zb) de l'ammonitico-rosso calcaire du site 1 avec ses trois termes A, B et C.

Fig. 2: Calcaires et dolomies litées du Domérien, dans la coupe complémentaire Za.

Fig. 3: Le passage entre le terme A (calcaires rouges noduleux) et le terme B (calcaires gris avec semelle marneuse à la base) de l'ammonitico-rosso dans la coupe complémentaire Zc.

Fig. 4: Partie supérieure de l'ammonitico-rosso du site 2 (coupe Zd) montrant les alternances de marnes et de calcaires pseudonoduleux à *Hildoceras* et le passage vers les calcaires en plaquettes du terme C.

Fig. 5: Calcaires en plaquettes du terme C (coupe Zc) montrant des bancs affectés de rapides variations d'épaisseur causées par des écoulements synsédimentaires de matériaux.

Fig. 6: Détail du faciès rouge noduleux du terme A de l'ammonitico-rosso dans la coupe Zb.

Fig. 7: Détail des alternances marno-calcaires à *Hildoceras* dans la coupe Zd.

Fig. 8: Surface d'un banc calcaire à *Hildoceras* de la coupe Zd.

Fig. 9: Ammonites phosphatées dans les marno-calcaires à *Hildoceras*.

Plate I

Aspects of Toarcian Ammonitico-rosso of Oued Zraa and the Domerian substratum. In the outcrop: 1, 2, 3, 5 and 6: calcareous ammonitico-rosso of the site 1; 4, 7, 8 and 9: marly ammonitico-rosso of site 2.

Fig. 1: Overall Succession (Zb) of the calcareous ammonitico-rosso of site 1 with its three members A, B and C.

Fig. 2: Bedded limestones and dolomites of Domerian, in complementary section Za.

Fig. 3: Transition between member A (red nodular limestones) and member B (gray limestones with marly layer at the base) of the ammonitico-rosso in complementary section Zc.

Fig. 4: Upper part of the ammonitico-rosso of site 2 (Zd section) showing marls and limestones alternations and pseudo-nodular limestones with *Hildoceras* and the transition to the platelet limestone of member C.

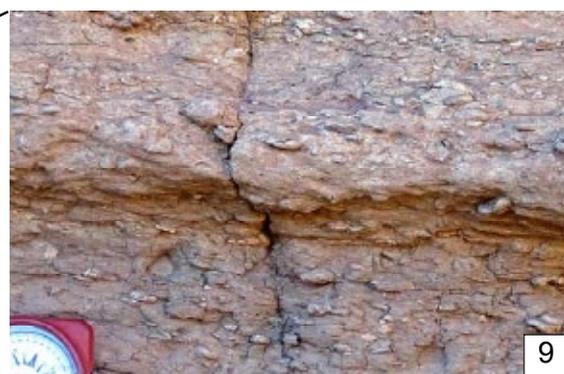
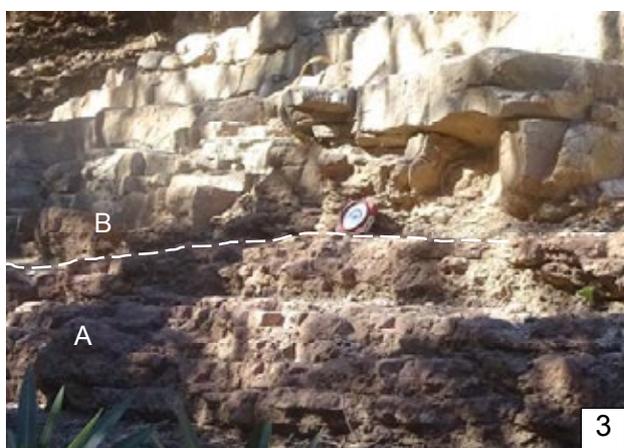
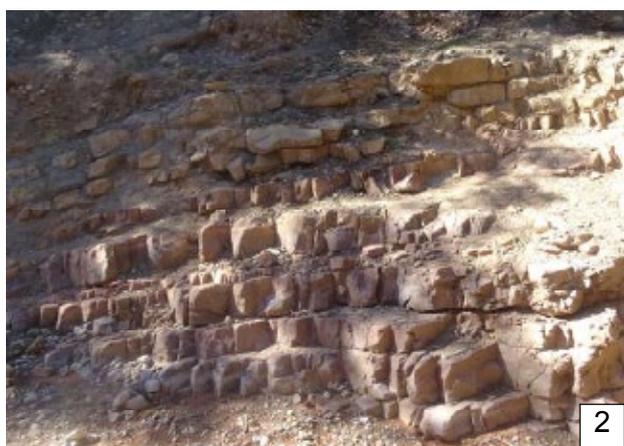
Fig. 5: Platelets limestones of member C (Zc section) showing rapid thickness variations caused by synsedimentary flows materials.

Fig. 6: Details of red nodular facies of member A of ammonitico-rosso in Zb section.

Fig. 7: Details of marls and limestone alternations with *Hildoceras* in Zd section.

Fig. 8: Surface of a limestone bed with *Hildoceras* in Zd section.

Fig. 9: Phosphatic ammonites in marly limestones to *Hildoceras*.



- Almeras Y. & Elmi S. 1982. Fluctuation des peuplements d'ammonites et de brachiopodes en liaison avec les variations bathymétriques pendant le Jurassique inférieur et moyen en Méditerranée occidentale. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, Modena, 21(2-3): 169-188.
- Aubouin J. 1964. Réflexions sur le faciès «Ammonitico-rosso». *Bulletin de la Société Géologique de France*, Paris, 7, VI: 475-501.
- Bassoulet J.P., Lachkar G., Baudin F., Benshili K., Blanc P., Boutakiout M., Depêche F., Elmi S. & Ruget C. 1991. Stratigraphie intégrée dans le Toarcien du Maroc (Rides sud-rifaines et Moyen Atlas). *Bulletin de la Société Géologique de France*, Paris, 161(5): 825-839.
- Benshili K. 1989. Lias-Dogger du Moyen-Atlas plissé (Maroc). Sédimentologie, biostratigraphie et évolution paléogéographique. *Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon*, 106: 285 pp.
- Cecca F., Fourcade F. & Azema J. 1992. The disappearance of the «Ammonitico Rosso». *Palaeogeographie, Palaeoclimatologie, Palaeoecology*, 99: 55-70.
- Charrière A. 1989. Carte géologique à 1/100 000: Feuille de Sefrou. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, Rabat, 354.
- Charrière A. 1990. Héritage hercynien et évolution géodynamique alpine d'une chaîne intracontinentale: le Moyen-Atlas au SE de Fès (Maroc). *Thèse Doctorat Es-Sciences Naturelles*, Toulouse, 589 pp.
- Charrière A., Ouarhache D., El Arabi H. 2011. Le Moyen Atlas. In: Michard A., Saddiqi O., Chalouan A., Rjimati E., Mouttaqi A. (eds), Nouveaux Guides géologiques et miniers du Maroc, vol. 4. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, Rabat, 559: 11-108.
- Colo G. 1962. Contribution à l'étude du Moyen-Atlas septentrional. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, Rabat, 139: 226 pp.
- Dresnay R. du 1988. Répartition des dépôts carbonatés du Lias inférieur et moyen le long de la côte atlantique du Maroc: conséquences sur la paléogéographie de l'Atlantique naissant. *Journal of African Earth Sciences*, 7(2): 385-396.
- El Arabi H. 2001. La plate-forme carbonatée jurassique (Hettangien ?-Aalénien) du Moyen Atlas occidental (Maroc), zone de transition entre le sillon Moyen atlasique et le bassin occidental du Selloum. *Thèse Doctorat d'Etat, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah*, Fès, 294 pp.
- El Arabi H., Canérot J. & Charrière A. 1986. Dynamique récifale et tectonique distensive en blocs basculés: l'exemple des récifs liasiques du bloc de Guigou (Causse moyen atlasique, Maroc). *Archives Scientifiques de Genève*, 40(3): 259-271.
- El Arabi H., Charrière A., Sabaoui A., Ouahhabi B., Kerchaoui S., Boutakiout M. & Laadila M. 1999. Le Toarcien et l'Aa-

Planche II

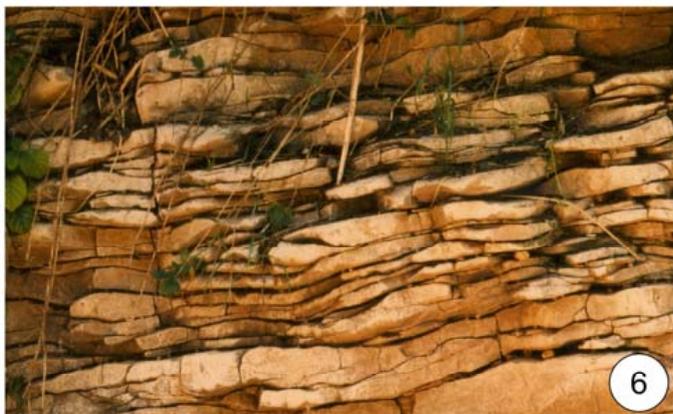
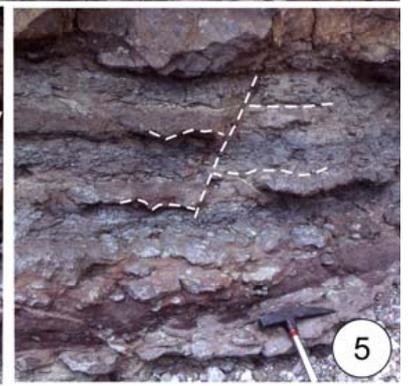
Dynamique sédimentaire et déformations. Clichés provenant du site 2 (coupe Zd).

- Fig. 1: Vue d'ensemble de la succession de l'ammonitico-rosso marneux du site 2 affectée d'un léger repli synclinal (tectonique alpine du Tertiaire). Noter la différence avec la lithologie de l'ammonitico-rosso calcaire du site 1 (Pl. I, fig. 1).
- Fig. 2: Détail d'une faille inverse hydroplastique ayant affecté des matériaux non indurés durant la sédimentation du terme A.
- Fig. 3: Discordance interne résultant d'un basculement du substratum déjà induré au cours de la sédimentation du terme B.
- Fig. 4: «Pli-faille» vraisemblablement d'origine synsédimentaire affectant le terme A.
- Fig. 5: Extrait de la fig. 4 avec détail de petite faille normale associée au déversement.
- Fig. 6: Aspect des «calcaires à filaments» du terme C avec des structures en mamelons «hummocky cross stratifications».
- Fig. 7: Figure de charge dans les «calcaires à filaments» du terme C traduisant un apport et un écoulement de matériaux dans un substrat encore gorgé d'eau.
- Fig. 8: Microfaciès d'un calcaire packstone à grainstone à filaments résultant de l'accumulation de fines coquilles de bivalves (genre *steinmania* = *posidonomia*). L'alignement dans le même sens témoigne d'un milieu à courant laminaire. Il contient également de rares débris de bioclastes: échinodermes et foraminifères ainsi que des grains de glauconie.
- Fig. 9: Microfaciès d'un calcaire packstone à grainstone très riche en ammonitelles remplies de sédiment micritique, associées à de rares filaments (en bas) et parfois des foraminifères remaniés (près du centre).

Plate II

Sediment dynamics and deformations. All picture from the site 2 (Zd section).

- Fig. 1: Overview of the succession of the marly ammonitico-rosso affected by a slight synclinal folding (Tertiary Alpine tectonics). Note the difference with the lithologie of calcareous ammonitico-rosso from site 1 (Pl. I, fig. 1).
- Fig. 2: Detail of a hydroplastique reverse fault affected non-indurated materials during sedimentation (member A).
- Fig. 3: Intraformational discordance resulting from a tilting of the substratum already indurated during sedimentation (member B).
- Fig. 4: "Fold-fault" probably of synsedimentary origin (member A).
- Fig. 5: Extract of fig. 4 with detail of small normal faulting associated with overturning.
- Fig. 6: Aspect of "calcaires à filaments" in member C with the "hummocky cross stratifications".
- Fig. 7: Load cast in the "calcaires à filaments" of the member C indicating drift and flow of materials in a substrate still waterlogged.
- Fig. 8: Microfacies of packstone to grainstone limestone with filaments resulting from the accumulation of fine bivalve shells (genus *steinmania* = *posidonomia*). The alignment in the same direction shows an environment of laminar flow. It also contains rare debris bioclast: echinoderms, foraminifers and glauconite grains.
- Fig. 9: Microfacies of packstone to grainstone limestone rich in ammonitella filled with micritic sediment associated with rare filaments (bottom) and sometimes redrafted foraminifera (near the center).



- lénien dans le nord du Moyen-Atlas plissé (Maroc) : diversité de l'enregistrement sédimentaire et reconstitution du contexte paléogéographique. *Bulletin de la Société Géologique de France*, Paris, 170(5) : 629-641.
- El Arabi H., Ouhhabi B. & Charrière A. 2001. Les séries du Toarcien-Aalénien du SW du Moyen-Atlas (Maroc) : précisions stratigraphiques et signification paléogéographique. *Bulletin de la Société Géologique de France*, Paris, 172 : 723-736.
- El Hammichi F. 2002. Le Moyen Atlas sud occidental (Maroc) au Lias Dogger : Contexte géodynamique, biostratigraphie (ammonites) et évolution paléogéographique. *Thèse de Doctorat en géologie, Université Mohamed V, Rabat*, 277 pp.
- El Hammichi F. & Tabyaoui H. 2015. Sedimentary dynamics and papaeotectonic structuring during the Toarcian-Aalenian in the southwestern Middle Atlas (Morocco). *Journal of African Earth Sciences*, 106 : 50-59.
- El Hammichi F., Elmi S., Faure-Muret A. & Benshili K. 2002. Une plate-forme en distension, témoin de phases pré-accrétion téthysienne en Afrique du Nord pendant le Toarcien-Aalénien (synclinal Iguer Awragh – Afennourir, Moyen-Atlas occidental, Maroc). *Comptes rendus Geoscience*, Paris, France, 334 : 1003-1010.
- El Hammichi F., Benshili K. & Tabyaoui H. 2007. L'instabilité dynamique pendant le Toarcien dans le Moyen Atlas (Maroc). *Ciências da Terra (UNL)*, Lisboa, Portugal, 135-141, 3 figs.
- El Hammichi F., Benshili K. & Elmi S. 2008. Les faunes d'Ammonites du Toarcien-Aalénien du Moyen Atlas sud-occidental (Maroc). *Revue de Paléobiologie*, Genève, 27(2) : 429-447.
- Elmi S. 1979. Tectonique synsédimentaire, émergence temporaires et sédimentation de type ammonitico-rosso : l'exemple du Lias du Djbel es-Sekka (Monts des Traras, Algérie occidentale). *7^e Réunion Annuelle des Sciences de la Terre, Lyon, Société Géologique de France*, Paris, p. 179.
- Elmi S. 1981a. Classification typologique et génétique des Ammonitico-rosso et des facies noduleux ou grumeleux :

Planche III

Ammonites de l'Oued Zraa

Sauf indication, toutes les photographies sont en grandeur réelle et réalisées par les auteurs de l'article. Les dimensions sont données en mm dans les légendes : D = diamètre de la coquille, H = hauteur du tour, E = épaisseur du tour, O = diamètre de l'ombilic, H/D = valeur relative de la hauteur pour un diamètre donné.

- Fig. 1 : *Dactyloceras polymorphum* (Fucini). Zd 31, n°1, Toarcien inférieur (Zone à Polymorphum), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme A. À D = 33,1 ; H = 9,5 ; E = 11,5 ; O = 16,0 ; H/D = 0,29.
- Fig. 2-3 : *Nodicoeloceras* sp. 2 : Zd 43, n°32, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = 19,7 ; H = 5,6 ; E = 8,2 ; O = 9,1 ; H/D = 0,29. 3 : Zd 48, n°62, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = ? ; H = 12,0 ; E = 17,4 ; O = ?
- Fig. 4-5 : *Harpoceras mediterraneum* Pinna. 4 : Zd 48, n°59, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = ? ; H = 16,5 ; E = 9,0 ; O = 11,6 ; 5 : Zd 41, n°1, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = 96,6 ; H = 44,0 ; E = 26,0 ; O = 30,6 ; H/D = 0,46.
- Fig. 6 : *Harpoceras* sp. Zd 60, n°22, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = 41,1 ; H = 19,7 ; E = 11,7 ; O = 10,1 ; H/D = 0,48.
- Fig. 7-9 : *Hildoceras tethysi* Geczy. 7 : Zd 41, n°2, Toarcien moyen (zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = ? ; H = ? ; E = ? ; O = ? ; 8 : Zd 41, n°3, Toarcien moyen (zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = ? ; H = ? ; E = ? ; O = ? ; 9 : Zd 41, n°4, Toarcien moyen (zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = ? ; H = ? ; E = ? ; O = ?
- Fig. 10 : *Hildoceras crassum* Mitzopoulos. Zd 40, n°1, Toarcien moyen (zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme A. À D = ? ; H = ? ; E = ? ; O = ?

Plate III

Ammonites of Oued Zraa

Unless indicated, all figures are in natural size and produced by the authors of the paper. Dimensions are in mm in the French caption : D = diameter of the shell, H = height, E = thickness, O = umbilical diameter, H / D = relative value of a given height to diameter.

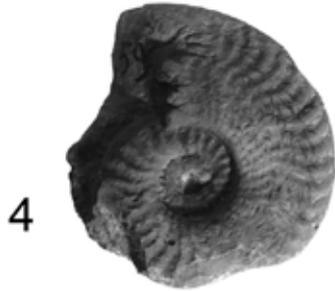
- Fig. 1 : *Dactyloceras polymorphum* (Fucini). Zd 31, n°1, lower Toarcian (Polymorphum zone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member A.
- Fig. 2-3 : *Nodicoeloceras* sp. 2 : Zd 43, n°32, middle Toarcian (Bifrons subzone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B. 3 : Zd 48, n°62, middle Toarcian (Bifrons subzone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B.
- Fig. 4-5 : *Harpoceras mediterraneum* Pinna. 4 : Zd 48, n°59, middle Toarcian (Bifrons subzone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B. 5 : Zd 41, n°1, middle Toarcian (Bifrons subzone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B.
- Fig. 6 : *Harpoceras* sp. Zd 60, n°22, middle Toarcian (Bifrons subzone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B.
- Fig. 7-9 : *Hildoceras tethysi* Geczy. 7 : Zd 41, n°2, middle Toarcian (Bifrons zone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B. 8 : Zd 41, n°3, middle Toarcian (Bifrons zone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B. 9 : Zd 41, n°4, middle Toarcian (Bifrons zone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B.
- Fig. 10 : *Hildoceras crassum* Mitzopoulos. Zd 40, n°1, middle Toarcian (Bifrons zone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member A.



2
(x 1,5)



3



4



5



6



9



7



10



- essai de synthèse. In: Farinacci A. & Elmi S. (eds), Rosso Ammonitico Symposium Proceedings. Ed. Tecnoscienza, 233-249.
- Elmi S. 1981b. Sédimentation rythmique et organisation séquentielle dans les Ammonitico-rosso et les faciès associés du Jurassique et de la Méditerranée occidentale. Interprétation des grumeaux et des nodules. In: Farinacci A. & Elmi S. (eds), Rosso Ammonitico Symposium Proceedings. Ed. Tecnoscienza, 251-299.
- Elmi S. 1985. Influence des hauts fonds sur la composition des peuplements et sur la dispersion des ammonites. Comité des travaux historiques et scientifiques. *Bulletin section des Sciences*, IX: 217-228.
- Elmi S. 1999. Cartes paléogéographiques in: Maroc, mémoire de la Terre, *Muséum National d'Histoire Naturelle*, 263 pp.
- Elmi S. & Ameer M. 1984. Quelques environnements des faciès noduleux mésogènes. *Geologica Romana*, 23: 13-22.
- Elmi S. & Benest M. 1978. Les «argiles de Saïda»: faciès flyschoides du Callovo-Oxfordien du sillon tlemcenien (Ouest algérien); stratonomie, environnement, interprétation et évolution paléogéographique. In: Livre jubilaire Jacques Flandrin. *Documents du Laboratoire de Géologie de la Faculté des Sciences de Lyon, Villeurbanne, Hors Série 4*: 203-261.
- Elmi S. & Bensilili K. 1987. Relation entre la structuration tec-

Planche IV

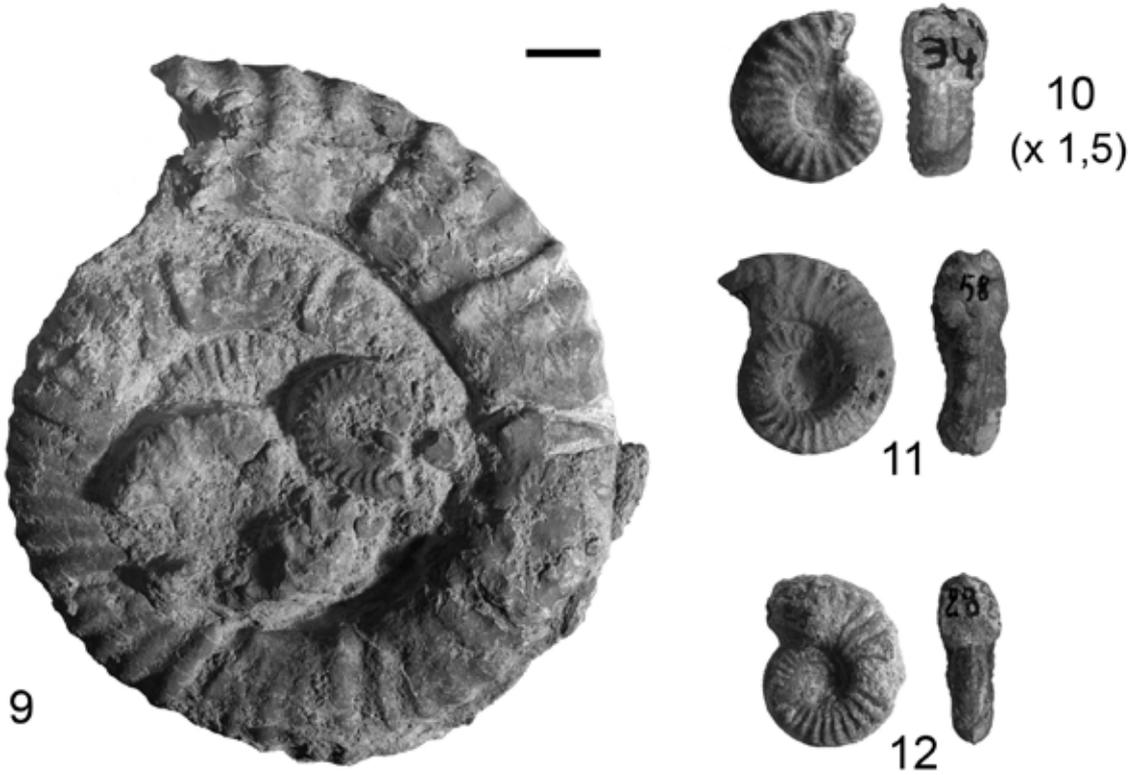
Ammonites de l'Oued Zraa

- Fig. 1: *Hildoceras crassum* Mitzopoulos. Zd 41, n°11, Toarcien moyen (zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = 35,9; H = 13,4; E = 11,1; O = 15,7; H/D = 0,37.
- Fig. 2-5: *Hildoceras lusitanicum* Meister. 2: Zd 41, n°11, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons, horizon à Lusitanicum), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = 35,2; H = 10,4; E = 8,0; O = 16,0; H/D = 0,29. 3: Zd 43, n°7, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons, horizon à Lusitanicum), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = 26,7; H = 10,3; E = 8,6; O = 10,9; H/D = 0,39. 4: Zd 48, n°1, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons, horizon à Lusitanicum), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = 53,2; H = 20,1; E = 13,5; O = 17,3; H/D = 0,38. 5: Zd 52, n°9, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons, horizon à Lusitanicum), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = 45,0; H = 15,1; E = 11,5; O = 17,7; H/D = 0,34.
- Fig. 6: *Hildoceras apertum* Gabilly. Zd 48, n°2, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = ?; H = ?; E = ?; O = ?.
- Fig. 7: *Hildoceras bifrons* (Bruguere). Zd'53, n°54, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons, horizon à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = 37,0; H = 13,6; E = 10,5; O = 12,3; H/D = 0,37.
- Fig. 8: *Phymatoceras elegans* (Merla). Zd'43, n°33, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons, horizon à Lusitanicum), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = 28,4; H = 11,5; E = 11,8; O = 12,2; H/D = 0,41.
- Fig. 9: *Phymatoceras formosum* Elmi & Rulleau. Zd'43, n°54, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = 97,3; H = 23,1; E = 14,0; O = 55,4; H/D = 0,24.
- Fig. 10-11: *Phymatoceras* sp. 10: Zd'43, n°34, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = 15,1; H = 7,5; E = 7,0; O = 6,3; H/D = 0,50. 11: Zd'48, n°58, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = 28,8; H = 11,0; E = 9,4; O = 10,9; H/D = 0,38.
- Fig. 12: *Mercaticeras umbilicatum* (Buckman). Zd'60, n°28, Toarcien moyen (sous-zone à Bifrons), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, terme B. À D = 23,1; H = 10,4; E = 9,1; O = 8,4; H/D = 0,45

Plate IV

Ammonites of Oued Zraa

- Fig. 1: *Hildoceras crassum* Mitzopoulos. Zd 41, n°11, middle Toarcian (Bifrons zone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B.
- Fig. 2-5: *Hildoceras lusitanicum* Meister. 2: Zd 41, n°11, middle Toarcian (Bifrons subzone, Lusitanicum horizon), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B. 3: Zd 43, n°7, middle Toarcian (Bifrons subzone, Lusitanicum horizon), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B. 4: Zd 48, n°1, middle Toarcian (Bifrons subzone, Lusitanicum horizon), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B. 5: Zd 52, n°9, middle Toarcian (Bifrons subzone, Lusitanicum horizon), Ammonitico-rosso de l'Oued Zraa, member B.
- Fig. 6: *Hildoceras apertum* Gabilly. Zd 48, n°2, middle Toarcian (Bifrons subzone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B.
- Fig. 7: *Hildoceras bifrons* (Bruguere). Zd'53, n°54, middle Toarcian (Bifrons subzone, Bifrons horizon), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B.
- Fig. 8: *Phymatoceras elegans* (Merla). Zd'43, n°33, middle Toarcian (Bifrons subzone, Lusitanicum horizon), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B.
- Fig. 9: *Phymatoceras formosum* Elmi & Rulleau. Zd'43, n°54, middle Toarcian (Bifrons subzone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B.
- Fig. 10-11: *Phymatoceras* sp. 10: Zd'43, n°34, middle Toarcian (Bifrons subzone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B. 11: Zd'48, n°58, middle Toarcian (Bifrons subzone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B.
- Fig. 12: *Mercaticeras umbilicatum* (Buckman). Zd'60, n°28, middle Toarcian (Bifrons subzone), Ammonitico-rosso of Oued Zraa, member B.



- tonique, la composition des peuplements et l'évolution: Exemple du Toarcien du Moyen-Atlas méridional (Maroc). *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 26(1-2): 47-62.
- Elmi S., Atrops F. & Mangold C. 1974. Les zones d'ammonites du Domérien-Callovien de l'Algérie occidentale. Première partie: Domérien-Toarcien. *Documents des laboratoires de géologie*, Lyon, 61: 1-83.
- Elmi S., Rulleau L., Gabilly J. & Mouterde R. 1997. 4. Toarcien. *Bulletin du Centre de Recherche Elf Exploration Production*, 17: 25-36.
- Farinacci A. & Elmi S. (eds) 1981. Rosso Ammonitico Symposium Proceedings. Ed. Tecnoscienza, Rome, 602 pp.
- Fedan B. 1993. Evolution géodynamique d'un bassin intra-plaque sur décrochements: Le Moyen Atlas (Maroc) durant le Méso-Cénozoïque. *Thèse Doctorat d'Etat, Travaux de l'Institut Scientifique, Rabat (1989), service Géologie – Géographie physique*, 18: 142 pp.
- Frizon de Lamotte D., Zizi M., Missenard Y., Hafid M., El Azzouzi M., Maury R.C., Charrière A., Taki Z., Benammi M. & Michard A. 2008. The Atlas system: The geology of Morocco. Structure, stratigraphy, and tectonics of the Africa–Atlantic–Mediterranean triple junction. In: Michard A., Saddiqi O., Chalouan A., Frizon de Lamotte D. (eds). *Lecture notes in earth sciences*, Springer, Verl, Berlin, Heidelberg, 116: 424 pp.
- Frizon de Lamotte D., Leturmy P., Missenard Y., Khomsi S., Ruiz G., Saddiqi O., Guillocheau F., Michard A. 2009. Mesozoic and Cenozoic vertical movements in the Atlas system (Algeria, Morocco, Tunisia): an overview. *Tectonophysics*, 475: 9-28.
- Gabilly J. 1976. Le Toarcien à Thouars et dans le Centre Ouest de la France. Biostratigraphie-Evolution de la faune (Harporceratinae, Hildoceratinae). Les stratotypes français. *Centre national de la recherche scientifique*, Paris, 3: 217 pp., 52 fig., 29 pl.
- Guardia P. 1967. Esquisse structurale de la région côtière comprise entre le Cap Milonia et l'îlot d'El Mokreum (Algérie occidentale). *Publications du Service Géologique de l'Algérie, Numéro Spécial, Bulletin d'Alger*, 35: 51-61.
- Guardia P. 1975. Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord-occidentale. *Thèse d'état*, Nice. 266 pp.
- Gueux J. 1973. Aperçu biostratigraphique sur le Toarcien inférieur du Moyen-Atlas marocain et discussion sur la zonation de ce sous-étage dans les séries méditerranéennes. *Eclogae Geologicae Helvetiae, Bâle*. 66(3): 493-523.
- Hallam A. 1981. The end-Triassic bivalve extinction event: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 35: 1-44.
- Kandemir R. & Yılmaz C. 2009. Lithostratigraphy, facies, and deposition environment of the lower Jurassic Ammonitico Rosso type sediments (ARTS) in the Gümüşhane area, NE Turkey: Implications for the opening of the northern branch of the Neo-Tethys Ocean. *Journal of Asian Earth Sciences*, 34: 586-598.
- Martin J. 1981. Le Moyen-Atlas Central, Etude géomorphologique. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, Rabat, 258: 445 pp.
- Martire L. 1996. Stratigraphy, facies and synsedimentary tectonics in the Jurassic Rosso Ammonitico Veronese (Altopiano di Asiago, NE Italy). *Facies*, 35: 209-236.
- Martire L., Clari P., Lozar F. & Pavia G. 2006. The Rosso Ammonitico Veronese (Middle–Upper Jurassic of the Trento Plateau): a proposal of lithostratigraphic ordering and formalization. *Rivista Italiana di Paleontologia*, 112: 227-250.
- Michard A., Saddiqi O., Chalouan A., Rjimati E.C. & Mouttaqi A. 2011. Introduction à la géologie du Maroc. In: Michard A., Saddiqi O., Chalouan A., Rjimati E. & Mouttaqi A. (eds), Nouveaux Guides géologiques et miniers du Maroc, vol. 1. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, Rabat, 556: 29-71.
- Mignot Y., Elmi S. & Dommergues J.L. 1993. Croissance et miniaturisation de quelques *Hildoceras* (Cephalopoda) en liaison avec des environnements contraignants de la Téthys toarcienne. *Geobios*, 15: 305-312.
- Neige P. & Rouget I. 2002. Les ammonites du Toarcien de Chantonny (Vendée, France): analyse paléontologique, biostratigraphique et réflexion sur les Hildoceratinae. *Geodiversitas*, 24(4): 765-784.
- Ouahhabi B. 1994. Le Lias et le Dogger inférieur du massif des Béni Snassen orientaux (Maroc): Stratigraphie, Paléontologie et Dynamique du bassin. *Thèse de Doctorat Es-Sciences, Université Mohamed 1^{er}, Oujda*, 336 pp.
- Robillard D. 1981. Etude stratigraphique et structurale du Moyen-Atlas septentrional (région de Taza, Maroc). *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, Rabat, 42(308): 101-193.
- Sabaoui A. 1987. Structure et évolution alpine du Moyen-Atlas septentrional sur la transversale Tleta des Zrarda – Merhraoua (sud-ouest de Taza, Maroc). *Thèse 3^e cycle, Université de Toulouse*, France, 189 pp.
- Sabaoui A. & Viallard P. 1987. Fractures majeures et décollement de couverture dans le Moyen Atlas septentrional (sud-ouest de Taza, Maroc). *Comptes rendus de l'académie des sciences. Paris*, 305(2): 993-998.
- Saddiqi O., El Haimer F.Z., Michard A., Barbarand J., Ruiz G., Mansour E.M., Leturmy P. & Frizon de Lamotte D. 2009. Apatite Fission –Track discrepancies in granites from a tabular domain (Western Meseta, Morocco). Role of the age and depth of emplacement; consequences for the history of vertical movements. *Tectonophysics*, 475: 29-37.
- Termier H. 1936. Etude géologique sur le Maroc central et le Moyen Atlas septentrional. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, Rabat, 33(2): 890-982.
- Termier H. & Dubar G. 1941. Notice explicative de la carte géologique provisoire du Moyen Atlas septentrional à 1/200 000. *Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, Rabat, 24 bis: 74 pp.