



ELSEVIER

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 337 (2005) 777–785



<http://france.elsevier.com/direct/CRAS2A/>

## Stratigraphy

# First direct age determination from the Jurassic radiolarian-bearing siliceous series (Jédidi Formation) of northwestern Tunisia

Fabrice Cordey<sup>a,\*</sup>, Mabrouk Boughdiri<sup>b</sup>, Houaïda Sallouhi<sup>b</sup>

<sup>a</sup> « Paléoenvironnements et paléobiosphère », CNRS UMR 5125, UFR des sciences de la Terre, université Claude-Bernard–Lyon-1, 2, rue Dubois, 69622 Villeurbanne cedex, France

<sup>b</sup> Département des sciences de la Terre, faculté des sciences de Bizerte, 7021 Jarzouna, Tunisie

Received 7 December 2004; accepted after revision 15 March 2005

Available online 13 May 2005

Presented by Michel Durand-Delga

### Abstract

Our study presents preliminary biostratigraphic results from the Jurassic siliceous series of northwestern Tunisia. For the first time, radiolarians are extracted from the Jédidi formation and provide a direct age determination. They are the first radiolarian fauna documented from Tunisia. Two age assignments are comprised within the following intervals: (1) Late Bathonian–Early Callovian, (2) Late Bathonian–Early Oxfordian. These ages are compatible with recent stratigraphic synthesis proposed for the Jurassic series of Tunisia. The data suggest the correlation of the Jédidi formation with siliceous series of Middle–Late Jurassic age from the external zone of the Maghrebides belt rather than with true oceanic units from the Maghrebien flyschs or the internal zones of western Tethys. **To cite this article:** *F. Cordey et al., C. R. Geoscience 337 (2005).*

© 2005 Académie des sciences. Published by Elsevier SAS. All rights reserved.

### Résumé

**Première datation directe des séries siliceuses à radiolaires (formation Jédidi), Jurassique du Nord-Ouest tunisien.** Notre étude présente les résultats biostratigraphiques préliminaires obtenus sur les séries siliceuses jurassiques du Nord-Ouest tunisien. Pour la première fois, des radiolaires sont extraits de la formation Jédidi et en permettent une datation directe. Ce sont aussi les premiers radiolaires documentés de Tunisie. Les deux niveaux datés ont un âge compris dans les intervalles (1) Bathonien supérieur–Callovien inférieur et (2) Bathonien supérieur–Oxfordien inférieur. Ces datations sont compatibles avec les dernières synthèses stratigraphiques proposées pour le Jurassique tunisien. Elles suggèrent en outre de corréliser la formation Jédidi avec les séries siliceuses du Jurassique moyen–supérieur de la zone externe des Maghrebides plutôt qu’avec les vraies unités océaniques associées aux flyschs maghrébins ou aux zones internes de la Téthys occidentale. **Pour citer cet article :** *F. Cordey et al., C. R. Geoscience 337 (2005).*

© 2005 Académie des sciences. Published by Elsevier SAS. All rights reserved.

\* Corresponding author.

E-mail address: [fabrice.cordey@univ-lyon1.fr](mailto:fabrice.cordey@univ-lyon1.fr) (F. Cordey).

*Keywords:* Radiolarites; Radiolaria; Jurassic; Tunisia; Biostratigraphy; Palaeogeography

*Mots-clés:* Radiolarites; Radiolaires; Jurassique; Tunisie; Biostratigraphie; Paléogéographie

## Version française abrégée

### 1. Introduction

Depuis leur découverte dans les années 60, les séries siliceuses à radiolaires du Nord-Ouest tunisien ne bénéficiaient pas jusqu'à présent de contrôle stratigraphique direct, celui-ci étant basé sur des corrélations lithologiques ou par encadrement. Nous présentons ici les premiers résultats biostratigraphiques obtenus sur ces séries, en documentant les faunes de radiolaires extraites de la coupe-type de la formation Jédidi (Figs. 1 et 2). Grâce à elles, nous proposons de préciser les corrélations stratigraphiques ainsi que le contexte paléogéographique associé à ces séries.

### 2. Cadre stratigraphique et études antérieures

Pour une revue complète de la stratigraphie des séries jurassiques de l'Atlas tunisien, on se référera aux publications de Soussi [22–26]. La dorsale tunisienne comprend des séries de plate-forme (Zaghouan) et de pente (Hammam-Lif), tandis que le sillon tunisien est caractérisé par des séries de bassins où se développent, au Jurassique moyen–supérieur, les séries siliceuses à radiolaires de la formation Jédidi (H, Fig. 2). Ces séries ont d'abord été considérées comme d'âge Crétacé [5,6,21]. Les premiers affleurements qualifiés de jurassiques des jebels Jédidi, Chaâbane et Tamrhoura ont été découverts par Pini et Salaj [17], puis un équivalent latéral de ces dépôts a été décrit par Glaçon et Rouvier [11] dans la région de Thuburnic. Plus tard, Rouvier [19] affine l'âge de la série en l'attribuant par encadrement au Kimméridgien–Tithonien. La première appellation de « radiolarites » est due à Alouani et al. [1], qui attribuent cette formation à l'Oxfordien supérieur–Kimméridgien inférieur par corrélations lithologiques. Peybernès et al. [16] décrivent ensuite (région de Sidi Thabet) des alternances de pélites et de marno-calcaires pouvant passer latéralement (région de Mejez el Bab) à un complexe rouge/vert de pélites à radiolaires et de radiolarites (jaspes) dit « faciès

Jédidi » et proposent un âge Kimméridgien supérieur–Tithonien supérieur. Sur la base de leur nouvelle attribution des calcaires noduleux gris rougeâtre à la formation Kef el Orma (plutôt qu'à la formation Zaress comme proposé dans les corrélations de [16]) et grâce à de nouvelles faunes d'ammonites provenant des séries adjacentes récoltées au jebel Ammar et à l'affleurement de Thuburnic, Soussi et al. [23] révisent les attributions antérieures et invoquent un âge Bajocien supérieur–Oxfordien supérieur pour ces séries siliceuses. Soussi [22] y définit une nouvelle formation dans la coupe-type du jebel Jédidi-Chaâbane, qu'il étend aux affleurements des jebels Tamrhoura, oued Maâden (ou Thuburnic) et Ammar. Dans tous ces travaux, les évaluations d'âge de ces séries siliceuses sont basées sur des données stratigraphiques indirectes.

### 3. Localisation et description de la coupe-type de la formation Jédidi

La coupe-type de la formation Jédidi est située à 10 km à l'ouest de la ville de Mejez el Bab, dans la partie orientale du jebel Sidi Jédidi (Fig. 1). Au-dessus des calcaires noduleux gris rougeâtre (formation Kef el Orma, reconnue par [23] dans le secteur d'étude), la coupe peut être subdivisée en trois unités (Fig. 3) :

- l'unité U1, à dominance de pélites rouge brique, qui intègre deux bancs décimétriques de calcaires siliceux stratifiés brun–rouge. Le faciès siliceux peut varier au sein d'un même banc ;
- l'unité U2, qui se distingue de l'unité sous-jacente par la dominance des bancs carbonatés et une nette diminution en épaisseur des niveaux péliques. Ces bancs durs sont plus épais et de teinte plus sombre que ceux de l'unité U1 ;
- l'unité U3, qui ressemble à U1 ; les bancs calcaires y sont peu épais, rouge brique ou vert clair et s'appauvrissent en silice vers le sommet de la série, passant progressivement aux alternances marno-carbonatées de la formation Beni Kleb [15].

Bien que la formation Jédidi comprenne plusieurs niveaux de jaspes biosiliceux primaires à radiolaires, elle ne correspond pas à une formation radiolaritique s.s., contrairement à ce qui a été décrit auparavant [1,22]. Les radiolarites sont, en effet, caractérisées par des alternances de jaspes et de pélites dépourvus de carbonates et issus à 80–90 % de l'accumulation de tests de radiolaires. Or, la formation Jédidi comprend plusieurs intercalations carbonatées et marneuses (Fig. 3) où les radiolaires sont fréquemment calcitisés. Par ailleurs, certains niveaux de jaspes sont en fait des bancs de calcaires silicifiés. La formation Jédidi devrait donc, à notre avis, être décrite comme une série « siliceuse ». Il n'y a pas, à notre connaissance, de radiolarites vraies en Tunisie. En terme d'environnement de dépôt, la présence de radiolaires dans une matrice carbonatée suggère que les dépocentres associés étaient liés à une forte productivité planctonique et que la sédimentation, bien que probablement soumise à un approfondissement, se soit effectuée au-dessus de la CCD en milieu bathyal.

#### 4. Assemblages de radiolaires et âges

Des tentatives précédentes de datation de la formation Jédidi n'ont pas conduit à l'extraction de radiolaires identifiables (R. Enay, comm. pers., 2004). Nous avons intégré dans notre approche une sélection d'échantillons sur le terrain [7], puis un traitement chimique HF de faible concentration (5 %). Jusqu'à présent, deux niveaux ont livré des assemblages diagnostiques. MB4 (Figs. 3 et 4) contient : *Cinguloturris carpatica* Dumitrica, *Palinandromeda podbielensis* (Ozoldova), *Parahsuum* sp., *Parvicin-gula* sp. aff. *blackhornsensis* Pessagno et Whalen, *Protunuma* sp., ?*Sethocapsa* sp., *Stichocapsa robusta* Matsuoka, *Transhsuum brevicostatum* (Ozoldova), *Transhsuum maxwelli* (Pessagno), *Tricolocapsa plicarum* Yao, ?*Tricolocapsa* sp. Ces morphotypes sont présents dans la zonation de Baumgartner et al., basée sur la méthode des associations unitaires [2]. Ils sont corrélés à l'UAZ 7, d'âge Bathonien supérieur ou Callovien inférieur. Le second échantillon productif, MB18, comprend : *Protunuma* sp., *Sethocapsa* sp., *Transhsuum maxwelli* (Pessagno), *Williriedellum* sp. A sensu Matsuoka, et *Wrangellium* sp.; cet assemblage peut être attribué aux UAZ 4–8. La présence d'UAZ 7 dans l'échantillon MB4 permet de réduire

l'attribution de MB18 aux UAZ 7–8, correspondant à un âge compris dans l'intervalle Bathonien supérieur–Oxfordien inférieur. Ce sont les premières datations directes obtenues sur des séries siliceuses tunisiennes. Ce sont aussi les premiers radiolaires documentés de Tunisie. Les âges obtenus sont, pour l'instant, compatibles avec les évaluations antérieures effectuées par encadrement à partir des formations sous-jacente Kef el Orma et sus-jacente Beni Kleb, d'âge Bajocien supérieur à Oxfordien supérieur respectivement [12,22, 23]. Il sera cependant nécessaire de dater plus précisément la base et le sommet de la formation Jédidi.

#### 5. Discussion

Alouani et al. [1] ont interprété la formation Jédidi et les séries de bassins associées comme les premiers dépôts pélagiques ayant suivi un effondrement généralisé du sillon tunisien au Jurassique moyen–supérieur. La datation directe, bien que partielle, de la formation Jédidi apporte un argument pour associer les dépôts pélagiques du sillon tunisien aux formations biosiliceuses reconnues comme « radiolarites » dans la zone externe des Maghrébides (Kabylies situées au nord-ouest de Constantine, Algérie), pour lesquelles un âge comparable (Dogger–Malm) a été attribué [9]. Bien que la paléoécologie des radiolaires mésozoïques soit toujours un sujet débattu [18], la période étudiée semble correspondre à une combinaison de conditions de forte productivité planctonique et d'un approfondissement progressif de segments externes de marges de la Téthys occidentale. L'absence de « vraies » radiolarites en Tunisie est à mettre en parallèle avec l'absence de vraies ophiolites montrant une absence d'océanisation, celle-ci concernant plutôt l'unité des flyschs maghrébins (voir schéma synthétique de [13]) ou les unités internes des régions de Téthys occidentale [8].

#### 1. Introduction

Since their discovery in the 1960s, radiolarian-bearing siliceous units of northwestern Tunisia underwent several stratigraphic correlations. These series had no direct age attribution so far, these being based on lithological correlations and/or on biostratigraphic data obtained from underlying and overlying units (see

below). We present here the first direct age controls on these siliceous units by documenting radiolarian fauna extracted from the type-section of the Jéjidi formation (Mejez el Bab region) (Figs. 1 and 2). We propose to discuss previous correlations, as well as place these biosiliceous successions in their regional, west-Tethyan palaeogeographic setting.

## 2. Stratigraphic framework and previous studies

For a complete overview of Jurassic stratigraphy from the Tunisian Atlas, see [22–26]. In the Jurassic series, the facies heterogeneity observed in the Early Jurassic is accentuated during the Middle and Late Jurassic (Fig. 2). The Tunisian ‘Dorsale’ documents platform (Zaghouan) and slope-type deposits (Hammam-Lif), whereas North-Atlasic Tunisia comprises basinal successions (Tunisian trough), where the Jéjidi formation is represented (H, Fig. 2). Originally, the siliceous successions from Tunisia were broadly attributed to the Lower Cretaceous [5,6,21]. From jebels Jéjidi, Chaâbane and Tamhoura, exposures of siliceous series were discovered by Pini and Salaj [17], who identified a thick succession (70 m) of reddish limestones yielding chloritized radiolarians attributed to the Callovian–Oxfordian interval by comparison with known successions of northern Tunisia. A lateral equivalent to these biosiliceous deposits was discovered by Glaçon and Rouvier [11] in Thuburnic area (region of Ghardimaou, northwestern Tunisia). Later on, Rouvier [19] assigned the ‘green radiolarian jaspers’ to the Kimmeridgian–Tithonian interval. The first attribution to ‘true’ radiolarian chert for these siliceous successions is from Alouani et al. [1] who inferred a Late Oxfordian–Lower Kimmeridgian age range, by comparison with the stratigraphy of Ammonitico-Rosso unit (Zaress formation) from the Tunisian ‘Dorsale’, as well as the occurrence of Kimmeridgian ammonites within overlying limestones [10]. Then Peybernès et al. [16] described at Jebel Ammar (region of Sidi Thabet, northern Tunisia) alternations of red to green pelites and limestones-marls that could laterally grade into red/green radiolarian-bearing pelites and radiolarites called ‘Jéjidi facies’, previously described [1]. Peybernès et al. proposed a Late Kimmeridgian–Late Tithonian age [16, (fig. 2, p. 158)]. Taking into account their new attribution of

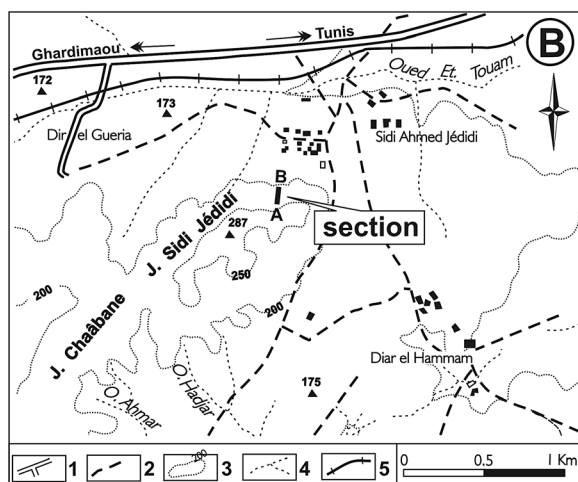
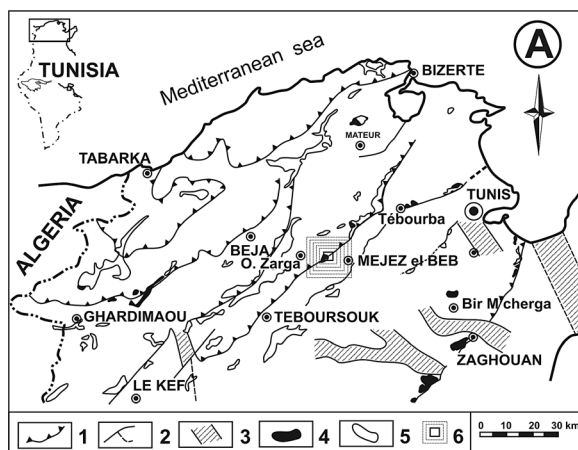


Fig. 1. Location of study area. (A) Northern Tunisia. 1: thrust fault; 2: main fault; 3: trough; 4: Jurassic exposures; 5: Triassic exposures; 6: study area. (B) Area of Jéjidi type-section. 1: highway; 2: gravel road; 3: elevation; 4: creek; 5: railway tracks. ‘A–B’: studied section (coordinates for section base: N 36° 39′ 06.0″, E 009° 30′ 56.7″).

Fig. 1. Localisation de la zone d’étude. (A) Nord Tunisie. 1 : chevauchement ; 2 : faille majeure ; 3 : fossé d’effondrement ; 4 : affleurements jurassiques ; 5 : affleurements triasiques ; 6 : zone d’étude. (B) Région de la coupe-type de Jéjidi. 1 : route principale ; 2 : piste ; 3 : courbe de niveau ; 4 : ravin, oued ; 5 : voie ferrée. ‘A–B’ : coupe étudiée (coordonnées de la base de la coupe : N 36° 39′ 06,0″, E 009° 30′ 56,7″).

the underlying nodular limestones to the Kef el Orma Fm (rather than to the Zaress Fm as proposed in correlations by [16]) and on the basis of new ammonite fauna from adjacent series gathered at J. Ammar and Thuburnic, Soussi et al. [23] revised previous corre-

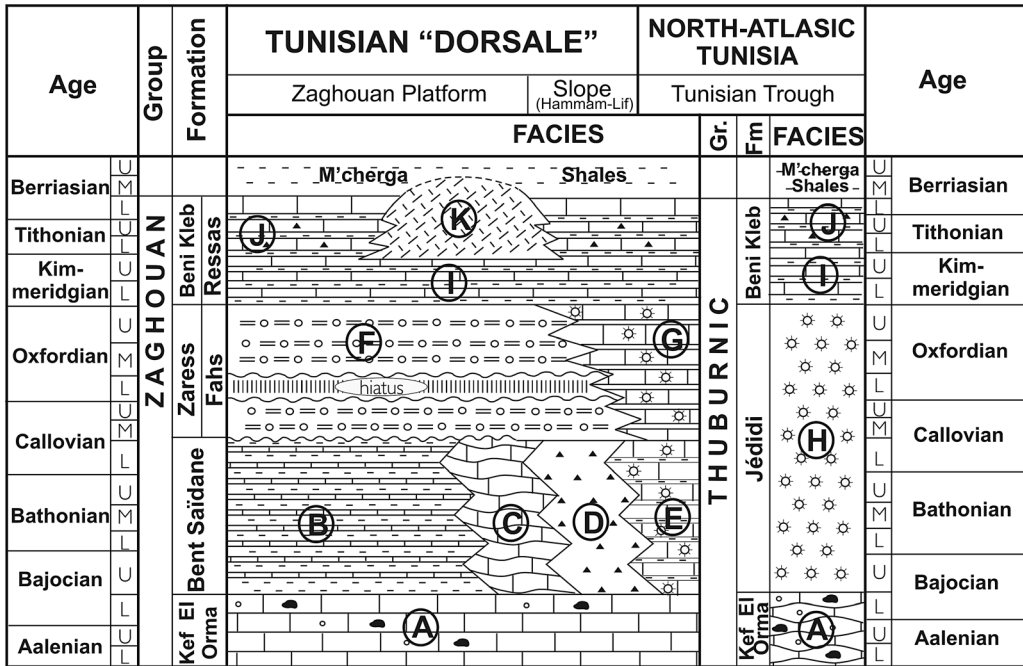


Fig. 2. Stratigraphic chart and facies distribution in northern Tunisia during the interval Middle Jurassic–Early Cretaceous (after [22]) with minor modifications; some new results by [4,12,20]. Facies: (A) fine-grained limestones with ammonites, ‘filaments’, *Zoophycos* and flint; (B) marly limestones with ammonites, ‘filaments’ and *Zoophycos*; (C) black limestones with ‘filaments’; (D) Bou Kornine breccia; (E) siliceous limy marls; (F) limestones and red nodular marls, ‘Ammonitico Rosso’ facies; (G) limestones, shaly or siliceous (‘faciès ocellé’); (H) siliceous series of the Jédid formation; (I) pelagic limestones with *Saccocoma*; (J) limestones, laminated or pseudobrecciated with calpionellids; (K) subreefoidal limestones of Ressas formation.

Fig. 2. Charte stratigraphique et répartition des faciès en Tunisie septentrionale au cours de l’intervalle Dogger–Berriasien (d’après [22]), légèrement modifiée; quelques nouveaux résultats par [4,12,20]. Faciès : (A) calcaires fins à ammonites, « filaments », *Zoophycos* et silex; (B) marno-calcaires à ammonites, « filaments » et *Zoophycos*; (C) calcaires noirs à « filaments »; (D) brèches de Bou Kornine; (E) marnes calcaires siliceuses; (F) marnes et calcaires noduleux rouges, faciès « ammonitico rosso »; (G) calcaires argileux ou durs siliceux (« faciès ocellé »); (H) séries siliceuses de la formation Jédid; (I) calcaires pélagiques à *Saccocoma*; (J) calcaires lités ou pseudobrechiques à calpionelles; (K) calcaires subrécifaux de la formation Ressas.

lations and assessed a Late Bajocian–Late Oxfordian age for the siliceous series of northwestern Tunisia. Soussi [22] defined a new formation at the type-locality of Jebel Jédid-Chaâbane, including exposures from jebels Tamrhoura, Oued Maâden (or Thuburnic) and Ammar. All these biochronological attributions were based on indirect evidence.

### 3. Location and lithology of type-section

The studied section is located 10 km to the west of the town of Mejez el Bab, near highway No. 6 linking Tunis to Ghardimaou (Fig. 1). Between Mejez el Bab and Oued Zarga, a gravel road heads south to Sidi Ahmed Jédid, then to the southeastern flank

of jebels Sidi Jédid and Chaâbane, where the section is exposed (Fig. 1B). Within the range, Jurassic units are bounded to the south by the Tébourouk fault (Fig. 1A), cropping out along a NE–SW belt parallel to large exposures of Triassic salt formations bordering the fault. Lower Jurassic limestones, presently worked in a gravel quarry, bound the Jurassic southernmost exposures. Jurassic units extend to the north as the base of a wide syncline where are identified subvertical to slightly reversed Middle and Late Jurassic strata. These strata grade into Cretaceous (vast plain crossed by Ghardimaou highway) and Eocene successions (Toukabeur–Chauouache area).

The Jédid formation type-section can be subdivided into three lithological units (Fig. 3). The base



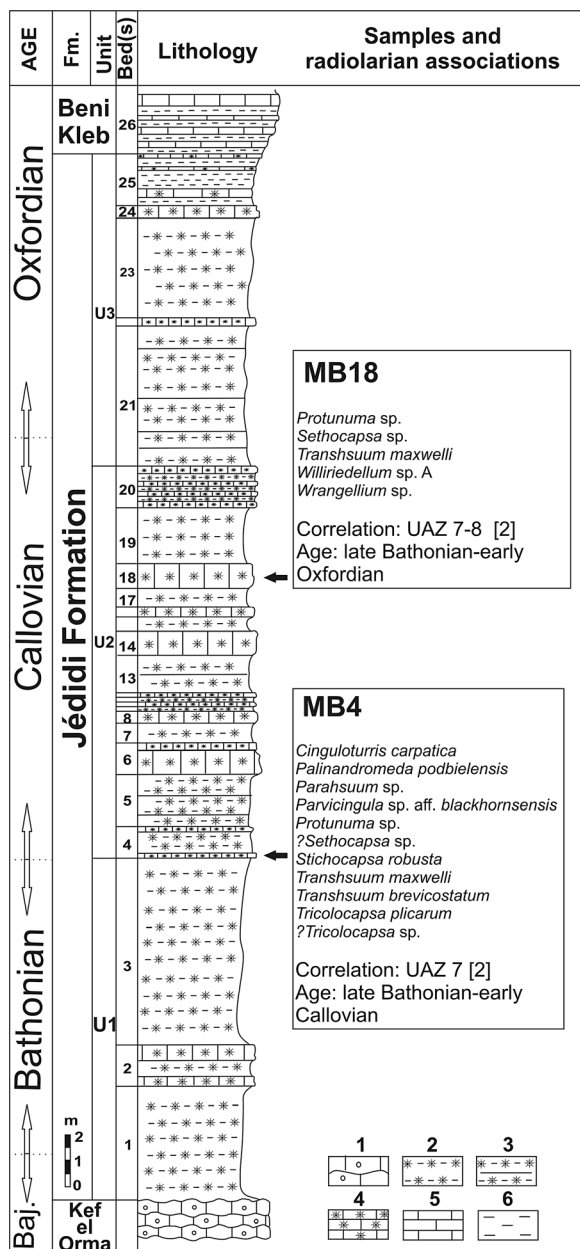


Fig. 3. Type section of the Jéjidi formation, radiolarian assemblages and age correlations. 1: nodular limestone; 2: radiolarian-bearing pelites; 3: pelites with thin limestone beds intercalations; 4: radiolarian chert or siliceous limestone; 5: limestone; 6: marls. Arrows within left column: lack of constraint on stage boundaries.

Fig. 3. Coupe-type de la formation Jéjidi, assemblages de radiolaires et âges attribués. 1 : calcaire pseudo-nodulaire ; 2 : pélites à radiolaires ; 3 : pélites à intercalations de minces bancs calcaires ; 4 : calcaire siliceux, jaspé à radiolaires ; 5 : calcaire ; 6 : marnes. Colonne de gauche : incertitude sur la position des limites d'étages.

of the formation overlies a layer of pink–grey nodular limestone containing belemnites (Formation Kef el Orma), as recognized by [23] in the study area and maintained in this paper:

- unit U1, dominantly composed of thick red pelites (locally not exposed); this unit comprises two beds of thinly laminated siliceous limestone, dark brown to brick red in colour with tints of yellow and green. The siliceous content varies along beds. Locally, these beds display potentially radiolarian-rich layers;
- unit U2, which differs from the underlying unit by a lesser amount of pelites and siliceous facies. Calcareous beds are dominant and are harder, thicker and darker than those of U1;
- unit U3, resembling U1. Limestone beds are relatively thin, red or green in colour, along with decreasing siliceous content towards the top of the formation, grading into marl–limestone alternations of the Beni Kleb formation [15].

Although the Jéjidi formation comprises several layers of primary radiolarian-bearing biogenic chert, we consider it as improperly described in the literature as ‘radiolarites’ [1] or ‘pseudoradiolarites’ [22]. True radiolarites (also classically named ‘radiolarian chert’, ‘ribbon chert’, or ‘bedded chert’) are typically composed of alternations of chert–shale couplets devoid of limestone layers, whereas the Jéjidi formation comprises several intercalations of limestone beds and marls in which the siliceous component is present (as shown by occurrence of radiolarians) but obviously not dominant. Although some beds are composed of biosiliceous jasper, other apparent ‘radiolarite’ beds are actually silicified limestone layers (Fig. 3). Occurrence of calcium carbonate is observed within the entire succession (units 1 to 3). The presence of radiolarians is significant, but cannot be considered the dominant lithological component, as is the case in a true primary biosiliceous succession. There is, to our knowledge, no true radiolarite formation in Tunisia. In summary, the so-called ‘radiolarites’ of the Jéjidi formation should instead be described as ‘siliceous series’. In terms of depositional environments, the occurrence of carbonates within these siliceous successions suggests that related depocentres, although basinal and potentially deep, were located above the CCD

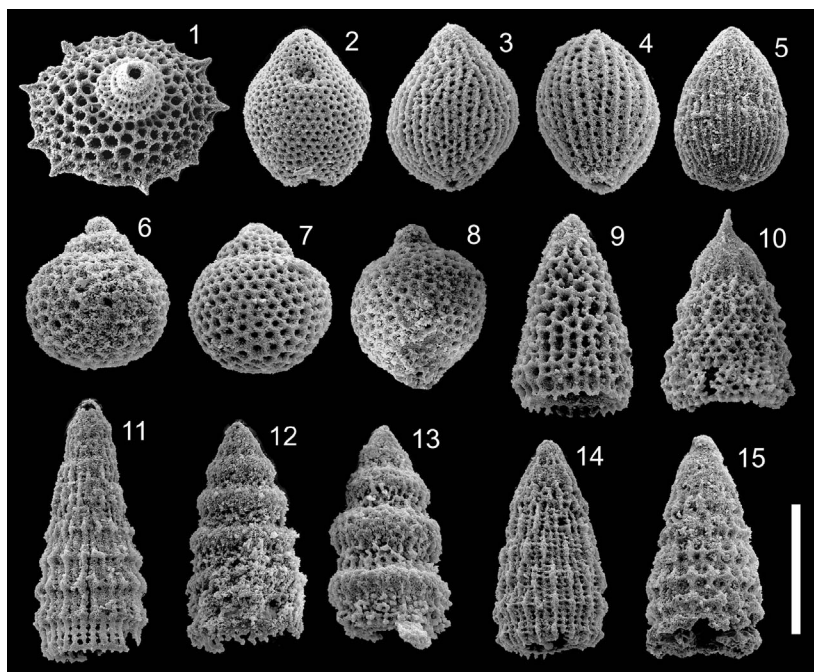


Fig. 4. Jurassic radiolarians from the Jéjidi Formation, Tunisia (Scanning Electron Microscope). Mentions: taxon, sample, picture number, scale length. **1:** *Palinandromeda podbielensis* (Ozoldova), MB4, n° 15, 200 µm; **2:** *Stichocapsa robusta* Matsuoka, MB4, n° 1, 110 µm; **3:** *Tricolocapsa plicarum* Yao, MB4, n° 9, 120 µm; **4:** *Protunuma* sp., MB4, n° 6, 100 µm.; **5:** *Tricolocapsa* sp., MB18, n° 17, 90 µm; **6:** *?Sethocapsa* sp., MB18, n° 7, 110 µm; **7:** *?Sethocapsa* sp., MB4, n° 05, 100 µm; **8:** *Williriedellum* sp. A sensu Matsuoka, MB18, n° 19, 100 µm; **9:** *Parahsuum* sp., MB4, n° 16, 100 µm; **10:** *Parvicingula* sp. aff. *blackhornsensis* Pessagno and Whalen, MB4, n° 19, 100 µm; **11:** *Transhsuum brevicostatum* (Ozoldova), MB4, n° 9, 110 µm; **12:** *Cinguloturris carpatica* Dumitrica, MB4, n° 21, 90 µm; **13:** *Cinguloturris carpatica* Dumitrica, MB4, n° 23, 80 µm; **14:** *Transhsuum maxwelli* (Pessagno), MB4, n° 13, 90 µm; **15:** *Wrangellium* sp., MB18, n° 2, 100 µm.

Fig. 4. Radiolaires jurassiques de la formation Jéjidi, Tunisie (microscope électronique à balayage). Mentions : taxon, échantillon, numéro de cliché, trait d'échelle. **1 :** *Palinandromeda podbielensis* (Ozoldova), MB4, n° 15, 200 µm ; **2 :** *Stichocapsa robusta* Matsuoka, MB4, n° 1, 110 µm ; **3 :** *Tricolocapsa plicarum* Yao, MB4, n° 9, 120 µm ; **4 :** *Protunuma* sp., MB4, n° 6, 100 µm. ? ; **5 :** *Tricolocapsa* sp., MB18, n° 17, 90 µm ; **6 :** *?Sethocapsa* sp., MB18, n° 7, 110 µm ; **7 :** *?Sethocapsa* sp., MB4, n° 05, 100 µm ; **8 :** *Williriedellum* sp. A sensu Matsuoka, MB18, n° 19, 100 µm ; **9 :** *Parahsuum* sp., MB4, n° 16, 100 µm ; **10 :** *Parvicingula* sp. aff. *blackhornsensis* Pessagno and Whalen, MB4, n° 19, 100 µm ; **11 :** *Transhsuum brevicostatum* (Ozoldova), MB4, n° 9, 110 µm ; **12 :** *Cinguloturris carpatica* Dumitrica, MB4, n° 21, 90 µm ; **13 :** *Cinguloturris carpatica* Dumitrica, MB4, n° 23, 80 µm ; **14 :** *Transhsuum maxwelli* (Pessagno), MB4, n° 13, 90 µm ; **15 :** *Wrangellium* sp., MB18, n° 2, 100 µm.

and probably linked with a high siliceous productivity. Such successions are usually found in bathyal environments.

#### 4. Radiolarian assemblages and age correlations

Previous attempts for extracting radiolarians from the Jéjidi formation were undertaken without success (R. Enay, pers. comm., 2004). Our approach included field selection of appropriate samples [7], then processed in the HF laboratory of the University Claude-Bernard–Lyon-1, France. As is usually applied

to biosiliceous samples, low concentration HF etching procedures were undertaken. So far, two layers released diagnostic radiolarians. Sample MB4 (Fig. 3) from the base of U2 contains the following association (Figs. 3 and 4): *Cinguloturris carpatica* Dumitrica, *Palinandromeda podbielensis* (Ozoldova), *Parahsuum* sp., *Parvicingula* sp. aff. *blackhornsensis* Pessagno and Whalen, *Protunuma* sp., *?Sethocapsa* sp., *Stichocapsa robusta* Matsuoka, *Transhsuum brevicostatum* (Ozoldova), *Transhsuum maxwelli* (Pessagno), *Tricolocapsa plicarum* Yao, *?Tricolocapsa* sp. These identified morphotypes are present within the Unitary Association Zonation of Baumgartner et al.

[2], showing a common occurrence within the UAZ 7 of Late Bathonian or Early Callovian age [2]. Although we do not use the following taxon in our correlation due to slight morphological differences, *Parvicungula blackhornsensis* Pessagno and Whalen, reported and described from the Snowshoe formation, Oregon [14] is of Late Bathonian–Callovian age *pro parte*, an age consistent with our age establishment.

The second productive sample MB18, collected from the upper part of U2, contains (Figs. 3 and 4): *Protunuma* sp., *Sethocapsa* sp., *Transhsuum maxwelli* (Pessagno), *Williriedellum* sp. A *sensu* Matsuoka and *Wrangellium* sp. Zonation [2] shows that this association is correlative with UAZ 4–8. The occurrence of UAZ 7 in MB4 establishes that MB18 can be attributed to UA7–8, corresponding to an age placed within the interval Late Bathonian–Early Oxfordian.

These age data provide, for the first time, a direct age control on the Jurassic radiolarian-bearing siliceous strata from Tunisia. As indicated in the stratigraphic framework above, the age of the Jédidi formation was previously assessed indirectly from the underlying Kef el Orma and the overlying Beni Kleb formations, providing a Late Bajocian to Late Oxfordian age range [12,22,23]. Our data are compatible with this assessment. More diagnostic layers need to be found in the future, for instance radiolarian-bearing beds near the base and the top of the Jédidi formation.

## 5. Discussion

Within the Tunisian ‘Dorsale’, the transition between Middle and Late Jurassic successions is characterized by the onset of ‘Ammonitico Rosso’ facies, usually of Middle Callovian (Anceps zone) up to Late Oxfordian (Bimammatum and/or Planula zones) age range. At Bou Kornine du Pont de Fahs, Raouas-Beni Kleb, Aziz, Oust and Ammar jebels, these series are instead represented by a thick succession of greenish or dark-red limestones (‘faciès ocellés’ [3] or Fahs formation *sensu* Soussi [22]). The siliceous series of the Jédidi formation probably represent for their upper part a lateral equivalent, within the Tunisian trough, of these carbonate successions. The lower part of the formation can also be correlated to part of, or the whole of Bent Saïdane Fm (Fig. 2).

In their discussion, Alouani et al. [1] have interpreted the siliceous Jédidi formation and associated Jurassic basinal units as the first pelagic deposition following a general collapse of the Tunisian trough area. The direct, although partial, age assignment of the siliceous deposits of the Jédidi formation provides an argument for integrating the pelagic deposits of the Tunisian trough into the biosiliceous series identified in the external Maghrebide Range (e.g., Kabylia located to the northwest of Constantine, Algeria) to which the same Middle–Late Jurassic age was assigned [9]. Although the conditions of radiolarian palaeoecology are still a matter of debate (see [18] and references therein), this period witnesses a combination of high productivity siliceous depocentres with a general deepening of segments of west Circumtethyan passive margins. The absence of true Jurassic radiolarites is to be paralleled with the absence, in Tunisia, of true ophiolites, suggesting a lack of true oceanization found instead within the Maghrebian flysch unit [13] and in the internal zones of western Tethys [8].

## 6. Conclusion

Appropriate radiolarian detection and extraction techniques show their potential for directly dating Jurassic siliceous series of Tunisia. Although more work is probably needed, the type-section of the Jédidi formation released so far two assemblages of Late Bathonian–Early Callovian and Late Bathonian–Early Oxfordian ages respectively. These results show that the Jédidi formation is partly coeval to radiolarite successions from the Mediterranean region. However, they suggest that the Jurassic siliceous series of the Tunisian trough are to be correlated with units from the external zone of the Maghrebides belt rather than true oceanic units from western Tethys.

## Acknowledgements

F.C. wishes to thank the staff of the Department of Earth Sciences from the Bizerte University as well as Dr. Ben Youssef (CINRST) for their help and support. Funds were in part provided by the laboratory ‘Eau–Technologie membranaire’ (INRST, Tunisia) supervised by P. Mahmoud Dhahbi.



## References

- [1] R. Alouani, S. Tlig, F. Zargouni, Découverte de radiolarites du Jurassique supérieur dans le « sillon tunisien » : faciès et structures d'une marge SE de la Téthys, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II 310 (1990) 609–612.
- [2] P.O. Baumgartner, A. Bartolini, E.S. Carter, M. Conti, G. Cortese, T. Danelian, P. De Wever, P. Dumitrica, R. Dumitrica-Jud, S. Gorican, J. Guex, D.M. Hull, N. Kito, M. Maruccci, A. Matsuoka, B. Murchey, L. O'Dogherty, J. Savary, V. Vishnevskaya, D. Widz, A. Yao, Middle Jurassic to Early Cretaceous radiolarian biochronology of Tethys based on unitary associations, in: P.O. Baumgartner (Project Leader), Middle Jurassic to Lower Cretaceous Radiolaria of Tethys: occurrences, systematics, biochronology, Mém. Géol., Lausanne 23 (1995) 1013–1048.
- [3] J. Bonnefous, Contribution à l'étude stratigraphique et micropaléontologique du Jurassique de Tunisie (Tunisie septentrionale et centrale, Sahel, zone des Chotts), thèse d'État, université Paris-6, 1972, 397 p.
- [4] M. Boughdiri, F. Olóriz, B. López Márques, M. Layeb, E. De Matos, H. Sallouhi, Upper Kimmeridgian and Tithonian Ammonites from the Tunisian "Dorsale" (NE Tunisia): updated biostratigraphic results from J. Oust, Riv. Ital. Biostr. Paleont., in press.
- [5] G. Castany, Étude géologique de l'Atlas tunisien oriental, Ann. Mines Géol. Tunisie 8 (1951) 1–632.
- [6] G. Castany, Les extrusions jurassiques en Tunisie, Ann. Mines Géol. Tunisie 14 (1955) 1–71.
- [7] F. Cordey, P. Krauss, A field technique for identifying and dating radiolaria applied to British Columbia and Yukon, Geol. Surv. Can. Pap. 90–1E (1990) 127–129.
- [8] P. De Wever, J. Azéma, E. Fourcade, Radiolaires et radiolarites : production primaire, diagénèse et paléogéographie, Bull. Centre Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine 18 (1994) 316–379.
- [9] M. Durand-Delga, Étude géologique de l'Ouest de la chaîne numidique, thèse d'État ès sciences naturelles, faculté des sciences, Paris, sér. A, 2755, 1955, 533 p.
- [10] P. Fauré, B. Peybernès, Biozonation par ammonites et essai de corrélation des séries réduites liasiques de la « Dorsale tunisienne », Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse 122 (1986) 41–49.
- [11] G. Glaçon, H. Rouvier, Découverte de Jurassique dans les monts de la moyenne Medjerda (Tunisie septentrionale), C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. D 270 (25) (1970) 3007–3009.
- [12] K. Maâlaoui, Repères biochronologiques dans la série du Dogger-Berriasien du J. Ammar (Ariana, Tunisie septentrionale) : Biomicrofaciès et cadre géodynamique régional, thèse, faculté des sciences de Bizerte, Tunisie, 2004, 100 p.
- [13] A. Michard, A. Chalouan, H. Feinberg, B. Goffé, R. Montigny, How does the Alpine belt end between Spain and Morocco?, Bull. Soc. géol. France 1 (2002) 3–15.
- [14] E.A. Pessagno Jr., P.A. Whalen, Lower and Middle Jurassic radiolaria (multicyrtid Nassellariina) from California, east-central Oregon and the Queen Charlotte Islands, B.C., Micropaleontology 28 (2) (1982) 111–169.
- [15] B. Peybernès, The Jurassic of Tunisia: an attempt at reconstitution of the South Neotethyan margin during and after the rifting phase, Geology of Libya, Elsevier, 1992, pp. 1679–1766.
- [16] B. Peybernès, F. Kamoun, M. Durand-Delga, J. Thierry, P. Fauré, J.-L. Dommergues, J.-M. Vila, P. Cugny, M. Ben Youssef, Le Jurassique et le Crétacé basal de la Tunisie atlasique nord-occidentale : essai de corrélations avec les formations de la Dorsale tunisienne et de la « ride » Amar-Djédeida, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA 323 (1996) 153–162.
- [17] S. Pini, J. Salaj, Découverte de Jurassique à l'Ouest de Medjez el-Bab (Tunisie septentrionale), Notes Serv. Géol. Tunisie 31 (1969) 25–36.
- [18] G. Racki, F. Cordey, Radiolarian paleoecology and radiolarites: is the present the key to the past?, Earth Sci. Rev. 52 (2000) 83–120.
- [19] H. Rouvier, Géologie de l'extrême Nord tunisien : tectonique et paléogéographies superposées à l'extrémité orientale de la chaîne nord-maghrébine, Ann. Mines Géol. Tunisie 29 (1985) 1–427.
- [20] H. Sallouhi, Biostratigraphie intégrée (Ammonites, Calpionelles) dans le Kimméridgien supérieur–Tithonien du Jebel Oust (NE Tunisie) : approche biogéographique et facteurs de contrôle du renouvellement de la faune, M.Sci., faculté des sciences de Bizerte, Tunisie, 2003, 119 p.
- [21] M. Solignac, Étude géologique de la Tunisie septentrionale, thèse, faculté des sciences de Lyon, Barlier, 1927, 756 p.
- [22] M. Soussi, Nouvelle nomenclature lithostratigraphique « événementielle » pour le Jurassique de la Tunisie atlasique, Geobios 36 (2002) 761–773.
- [23] M. Soussi, M. Boughdiri, R. Enay, C. Mangold, Faciès à affinité *ammonitico rosso* d'âge Toarcien supérieur de la Tunisie atlasique nord-occidentale. Conséquences pour les corrélations et la paléogéographie, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA 327 (1998) 135–140.
- [24] M. Soussi, R. Enay, M. Boughdiri, C. Mangold, D. Zaghbib-Turki, L'Ammonitico-Rosso (formation Zaress) de la Dorsale tunisienne, C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA 329 (4) (1999) 279–286.
- [25] M. Soussi, R. Enay, C. Mangold, M.M. Turki, The Jurassic events and their sedimentary and stratigraphic records on the Southern Tethyan margin in Central Tunisia, in: S. Crasquin-Soleau, E. Barrier (Eds.), Peri-Tethys Memoir 5: New data on Peri-Tethyan sedimentary basins, Mém. Mus. Natl. Hist. Nat. 182 (2000) 57–92.
- [26] M. Soussi, C. Mangold, R. Enay, M. Boughdiri, M.H. Ben Ismail, Le Jurassique inférieur et moyen de la Tunisie septentrionale. Corrélations avec l'axe nord-sud et paléogéographie, Geobios 33 (4) (2000) 437–446.