

Paléontologie systématique (Paléobotanique)

# Un nouveau gisement à plantes du Callovien de Beni Barka, région de Tataouine, Sud-Est de la Tunisie : paléobotanique et taphonomie

Georges Barale<sup>a,\*</sup>, Mohamed Ouaja<sup>b</sup>, Dorra Srarfi<sup>c</sup>

<sup>a</sup> UMR 5125 PEPS, CNRS, université Lyon-1, campus de la Doua, bâtiment Darwin A, 69622 Villeurbanne cedex, France

<sup>b</sup> Laboratoire de géologie, université de Gabès, campus universitaire, cité Erriadh-Zrig, 6072 Gabès, Tunisie

<sup>c</sup> Office national des mines, 24, rue 8601, 2035 La Chargaia, 1080 Tunis cedex, Tunisie

Reçu le 25 mai 2007 ; accepté après révision le 21 septembre 2007

Disponible sur Internet le 19 novembre 2007

Written on invitation of the Editorial Board

## Résumé

Des récoltes paléobotaniques ont été effectuées dans le Callovien de Beni Barka, à 4 km au sud de Tataouine (Sud tunisien). Le matériel a été récolté dans une formation argileuse juste au-dessous de la barre carbonatée qui marque le sommet du membre Beni Oussid, lequel fait partie de la formation des marnes et calcaires de Fom Tataouine. La composition floristique est marquée par la présence de Ptéridophytes : *Piazopteris branneri* (White) Lorch et Coniférophytes : *Brachyphyllum trauti* Barale et Contini, *Pagiophyllum* cf. *crassifolium* Schenk, *Araucarites* sp., *Podozamites* sp. Il s'agit d'une nouvelle flore, qui vient compléter nos connaissances paléobotaniques du Sud tunisien. Cette flore s'est développée sur une plate-forme margino-littorale, située entre le craton africain, au sud, et l'océan téthysien, au nord. L'autochtonie du gisement est démontrée. Des comparaisons sont faites avec les flores bordant le Nord et le Sud de la Téthys. Un climat de type sub-tropical humide devait favoriser le développement d'une forêt de type ripisylve, avec en sous-bois des fougères. **Pour citer cet article : G. Barale et al., C. R. Palevol 6 (2007).** © 2007 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

## Abstract

**A new fossil plant locality from the Callovian of Beni Barka, Tataouine area, southeastern Tunisia: Palaeobotany and taphonomy.** Palaeobotanical material has been collected from the Callovian of Beni Barka, 4 km south of Tataouine (South Tunisia). The fossil plants originate from a limestone formation just below the carbonate bar, that delimits the Beni Oussid member which belongs to the marls and limestones of Tataouine Formation. The floristic composition is marked by the presence of Pteridophytes: *Piazopteris branneri* (White) Lorch and Coniferophytes: *Brachyphyllum trauti* Barale et Contini, *Pagiophyllum* cf. *crassifolium* Schenk, *Araucarites* sp., *Podozamites* sp. This flora was present in a margino-littoral platform situated between the African continent to the south and the South-Tethyan ocean to the north. The autochthony of the locality is demonstrated. Comparisons are made with the floras situated at the northern and southern margins of the Tethys Sea. A sub-tropical climate was present, favouring the development of a ripisylve flora of conifers, with an underwood of ferns. **To cite this article : G. Barale et al., C. R. Palevol 6 (2007).** © 2007 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

**Mots clés :** Paléobotanique ; Empreintes ; Structures épidermiques ; Taphonomie ; Callovien ; Sud tunisien

**Keywords:** Palaeobotany; Imprints; Epidermal structures; Taphonomy; Callovian; Southern Tunisia

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [barale@univ-lyon1.fr](mailto:barale@univ-lyon1.fr) (G. Barale).

## Abridged English version

Southern Tunisia is a privileged area for Mesozoic palaeobotany, with the discovery, ten years ago, of fossils plants in the Bathonian [5], the Oxfordian [33], and the Lower Cretaceous [6–8]. This area was well known also for anatomical structures of ferns [14,25–27], or conifers [13,20,40].

A new palaeobotanical material has been collected from the Callovian of Beni Barka, 4 km to the south of Tataouine (Fig. 1).

The fossil plants originate from a limestone formation just below the carbonate bar, that delimits the Beni Oussid member [34], which belongs to the marls and limestones of the Tataouine Formation (Fig. 2). The Beni Oussid member is attributed to the Callovian p.p. [1,11,12,15,19,23,30,34].

The palaeogeography of southeastern Tunisia was drawn during the Callovian by a SW–NE coastline, which fluctuated with sea-level change. The progradation produced by these changes was materialized by regressive depositional sequences, showing marine fossiliferous limestone at their base, overlain by littoral sandstone and ending by lagoonal clays, with plant remains.

These clays are rarely preserved, as they are often eroded by the marine transgressions that succeeded their deposition.

## Systematic

*Piazopteris branneri* (White) Lorch (Fig. 3A). Frond bipinnate or isolated pinnae. Pinnae linear, alternate, or subopposite along the main rachis, characterized by longitudinal striations. Pinnules simple (2–7 mm long and 0,7–2 mm wide); normal venation with a midrib and primary veins arches along midrib; primary arches giving off simple or forked laterals running to margins.

*Piazopteris branneri* (White) Lorch is known in Israel, Madagascar, South America, and Tunisia [5].

*Brachyphyllum trauti* Barale & Contini (Figs. 3B and C). Branched shoot, branches emerging at an angle of 60°, 3 to 6 mm thick. Leaves spirally arranged, 3 to 5 mm long, 2 to 3 mm large, with rhomboidal basal cushions in shape; leaves crescent in section. The epidermal structure of the lower surface of the leaves has been observed on the collodion transfer. The stomatal apparatus are identical to those of *Brachyphyllum trauti* Barale & Contini [3] and very near to those of *B. crucis* Kendall emend. Harris [22]. It seems similar to *Brachyphyllum* sp. [17].

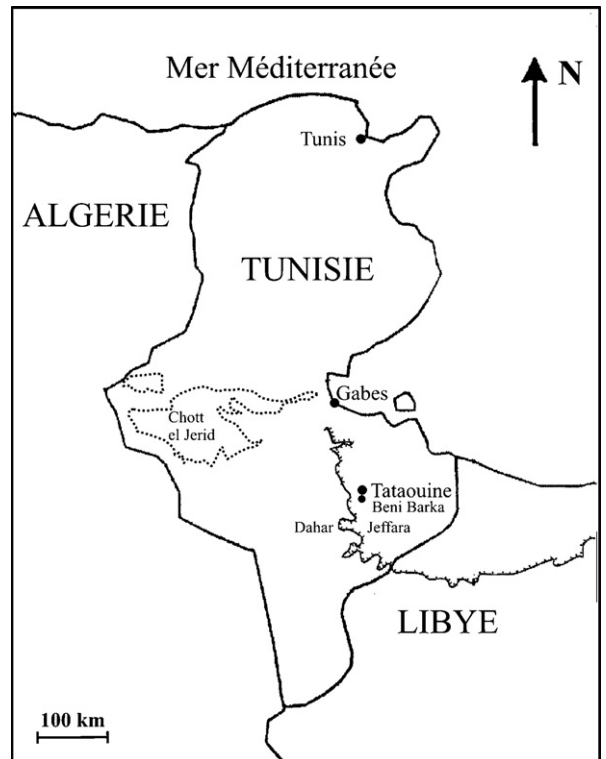


Fig. 1. Situation géographique du gisement.

Fig. 1. Geographical sketch of the locality.

## *Pagiophyllum cf. crassifolium* Schenk (Fig. 3D)

Branched shoot with spirally arranged leaves (6–7 mm long × 2 mm wide). Leaf crescent-shaped in lateral view. It seems similar to *P. crassifolium* Schenk from the Wealden of northern Germany [31,37], from the Wealden of northern France [16], and the Lower Jurassic of Antarctica [36].

## *Araucarites* sp. (Fig. 3E)

Detached cone scales, about 32 mm long and 12 mm wide. Distal end typically prolonged into an awn-like acicular tip. Median region of scales occupied by an obovate seed. In gross features, the material can be attributed to *Araucarites* Presl and looks more like *A. pictaviensis* Barale [6] and *A. moreauana* (Saporta) Seward emend Barale [2].

## *Podozamites* sp. (Fig. 3F)

Isolated lanceolate leaves of 163 mm long × 18 mm wide. Apex acute, proximal base narrowed to 6 mm. Veins parallel, converging towards apex.

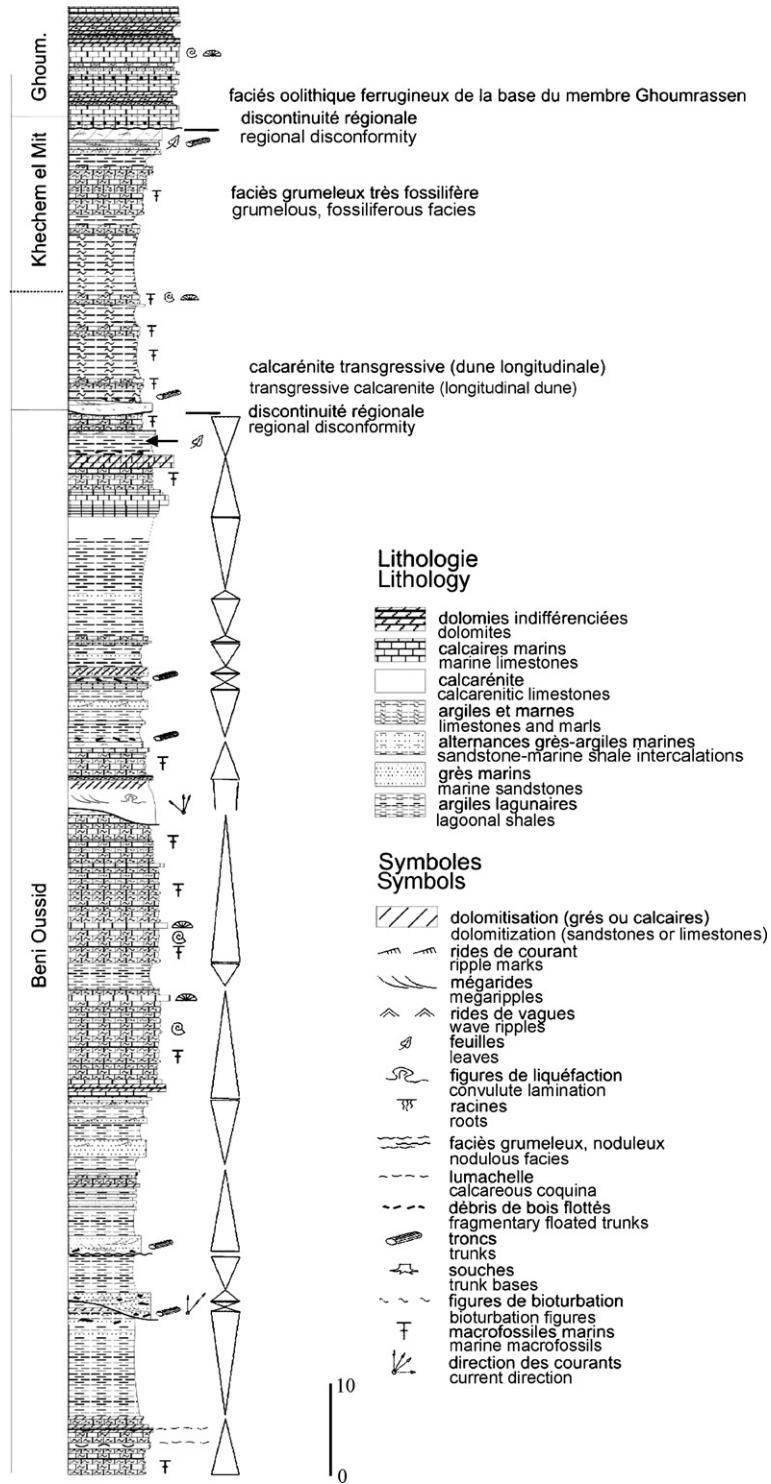
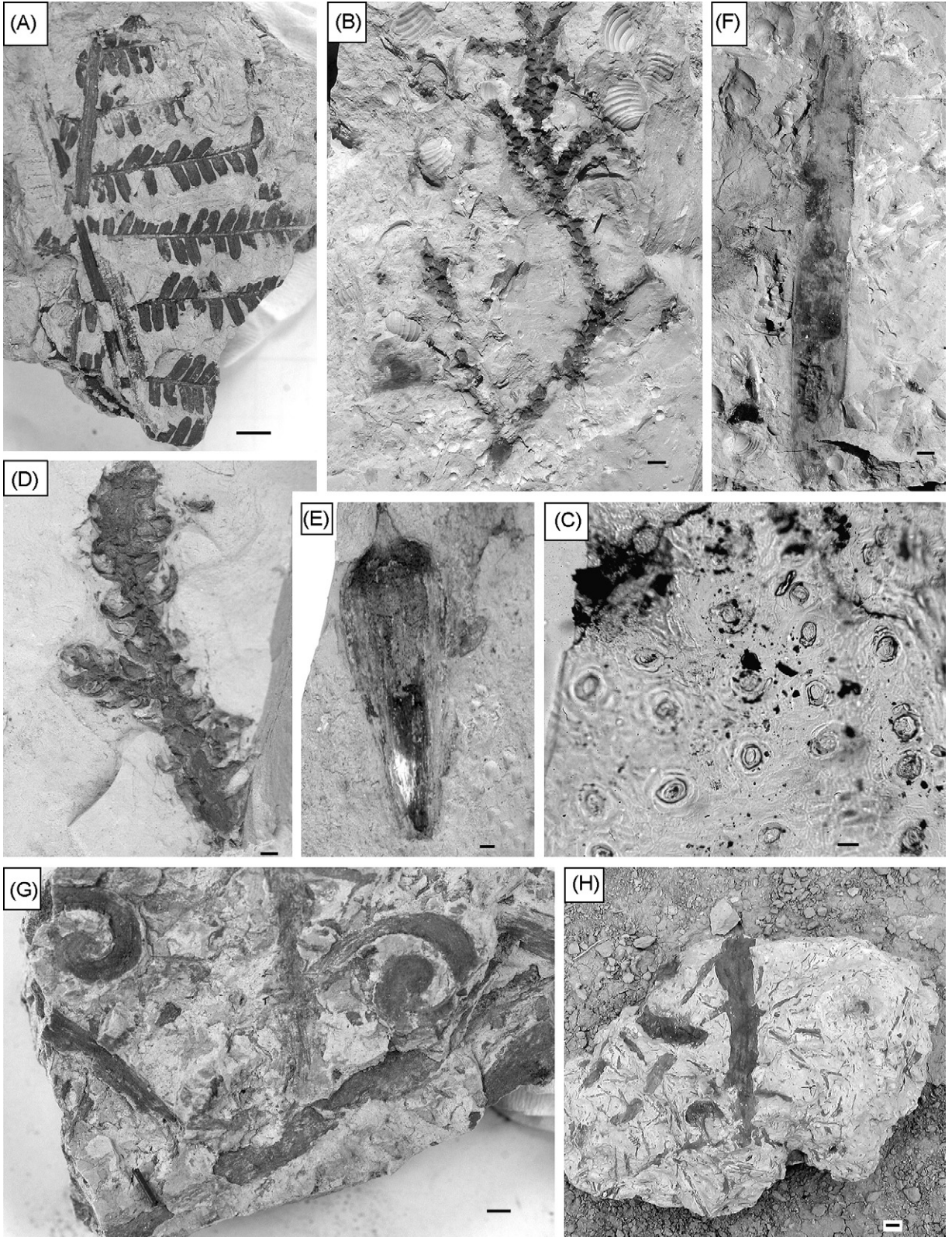


Fig. 2. Coupe de Beni Barka.

Fig. 2. Beni Barka section.



The material is similar to the specimen described from the Upper Jurassic/Lower Cretaceous of Tunisia [5], but differs from *Podozamites* leaves of the Rhaetic flora from Scoresby Sound [21].

This flora with Pteridophytes, Conifers and with the lack of Bennettitales is different from those described at the North of the margin of Gondwana, Tunisia, Israel [29], Iran [10], Libya [17], Arabia [28], but also from the floras situated at the South of European continent, France [2,3,6].

This new flora was present in a margino-littoral platform situated between the African continent to the south and the South-Tethyan Ocean. The autochthony of the locality is demonstrated: mixture without selection of axes, leaves and roots, young leaves (fiddlehead) of ferns, fertile parts of conifers, plant axes crossing the sedimentary levels.

A sub-tropical climate was present, favouring the development of a ripisilve flora with an underwood of ferns. This very flat zone was influenced by the advance of the sea, rooting up the plants that were living nearby, on the emerged part.

## 1. Introduction

Le Sud de la Tunisie a fait l'objet, depuis une dizaine d'années, de nombreuses découvertes de flores terrestres dans le Bathonien [8], l'Oxfordien [33], le Crétacé inférieur [4,5,7,9]. Il s'agit essentiellement de flores à empreintes de Ptéridophytes et Gymnospermes, avec, dans l'Aptien–Albien inférieur, l'apparition de premières Angiospermes.

Antérieurement à ces travaux, cette région était connue pour ses structures anatomiques isolées, soit de fougères [14,25,26,27], soit de conifères [13,20,40].

La découverte d'un nouveau gisement à empreintes végétales dans le Callovien de Beni Barka vient compléter nos données dans un chaînon manquant de cette série.

## 2. Situation géographique et géologique

Le djebel Beni Barka se situe à 4 km au sud de Tataouine. Il fait partie des affleurements mésozoïques qui longent la grande falaise crétacée, limite orientale du plateau du Dahar, qui s'étend sur environ 150 km, depuis le massif du Tebaga de Médenine jusqu'à la frontière tuniso-libyenne (Fig. 1).

Des récoltes paléobotaniques ont été effectuées dans une formation argileuse jaunâtre, juste au-dessous de la barre carbonatée, qui marque le sommet du membre Beni Oussid [34], qui fait partie de la formation des marnes et calcaires de Foum Tataouine [15,24,32]. Le membre Beni Oussid est attribué au Callovien p.p., car il est encadré, à la base par la formation Techout, d'âge Bajocien supérieur–Bathonien [15,19,23,30,34], et au sommet par le membre Khechem el Miit, attribué au Callovien p.p. [1,11,12,18,23,34].

La formation Foum Tataouine, épaisse d'environ 150 m, correspond à des alternances de couches marneuses et de bancs calcaires fossilifères, avec de rares intercalations sableuses. Redéfinie par Peybernès et al. [34], cette formation a été subdivisée, sur la base de coupures lithologiques, en quatre membres distincts : Beni Oussid, Khechem el Miit, Ghoumrassène et Ksar Hadada.

Le membre Beni Oussid, épais de 55 m, est marqué, à la base, par la première importante barre carbonatée qui coiffe les argiles et les grès de la formation Techout. Cette barre est surmontée par une série essentiellement argileuse, au sein de laquelle s'intercalent des calcaires bioclastiques, organisés en petits bancs grumeleux ou en plaquettes. Vers la partie moyenne, une barre de dolomie cristalline, intensément bioturbée, forme un grand replat.

Cette barre est coiffée par une épaisse couche de sables fins à stipes de fougères roulées, surmontée par une couche d'argiles silteuses de 4 m d'épaisseur, dans laquelle se retrouve le nouveau gisement à empreintes de plantes. Puis suivent des calcaires grumeleux fossili-

Fig. 3. (A) *Piazopteris branneri* (White) Lorch; fronde fragmentaire. (B) *Brachyphyllum trauti* Barale et Contini; rameau feuillé ramifié. (C) *Brachyphyllum trauti* Barale et Contini; peel au collodion de l'épiderme de la face inférieure d'une feuille, montrant la distribution des appareils stomatiques. (D) *Pagiophyllum* cf. *crassifolium* Schenk; axe couvert de feuilles falciformes. (E) *Araucarites* sp. Complexe écaille/bractée montrant la position de l'ovule. (F) *Podozamites* sp. Feuille entière. (G) Extrémités circinées de fougères. (H) Niveau riche en débris végétaux. L'échelle correspond à 5 mm, sauf pour la Fig. 3C (15 µm).

Fig. 3. (A) *Piazopteris branneri* (White) Lorch; fragmentary frond. (B) *Brachyphyllum trauti* Barale et Contini; ramified foliated branch. (C) *Brachyphyllum trauti* Barale et Contini; collodion transfer showing the lower epidermal surface of a leaf with the stomatal apparatus distribution. (D) *Pagiophyllum* cf. *crassifolium* Schenk; axis covered by falciform leaves. (E) *Araucarites* sp. Scale and bract complex showing the ovule position. (F) *Podozamites* sp. Complete leaf. (G) Young leaves (fiddlehead). (H) Rich level, with plant remains. Scale = 5 mm, except for Fig. 3C (15 µm).

fères. L'ensemble est couronné par une barre de calcaire bio-construit à polypiers de 2 à 3 m d'épaisseur, formant un grand replat et marquant le sommet du membre Beni Oussid.

### 3. Sédimentologie

L'analyse des faciès sédimentaires, grâce aux nombreuses coupes offertes le long de la falaise du Dahar, a permis de construire un modèle de faciès pour la série callovienne et de situer, par rapport à ce modèle, les niveaux à végétaux du site de Beni Barka (Fig. 2).

En effet, la série callovienne est constituée par un empilement de plusieurs séquences de progradation littorale, caractérisée chacune par le développement du demi-cycle régressif au détriment du demi-cycle transgressif. Il s'agit de séquences asymétriques matérialisées par la superposition de calcaires marins fossilifères, d'argiles vertes et de sables côtiers.

En raison de l'extrême platitude du milieu de sédimentation, bordure septentrionale de la plate-forme saharienne, les séquences calloviennes sont caractérisées par de faibles épaisseurs et par une grande extension latérale. On a pu suivre, sur environ 150 km, une séquence inférieure à 5 m d'épaisseur. En accord avec le concept développé par Posamentier et al. [35], l'organisation générale de ces séquences calloviennes montre clairement que la progradation s'effectue, le plus souvent, en régime de régression forcée.

Les variations latérales de faciès et d'épaisseur, ainsi que les mesures faites sur les crêtes des rides de vagues observées au sommet des barres sableuses, indiquent une ligne de côte lobée, orientée suivant une direction générale SW–NE. Ce caractère lobé du trait de côte est probablement engendré par un différentiel de subsidence, qui maintient souvent des profondeurs un peu plus fortes dans la partie médiane de la Jeffara (golfe de Tataouine), confirmé, d'ailleurs, par les maxima d'épaisseur de la série callovienne située entre Tataouine et Remada (60 km plus à l'ouest).

La progradation littorale s'effectue donc perpendiculairement à ce trait de côte, vers le sud, au niveau de la côte septentrionale du golfe, et vers le nord, au niveau de sa côte méridionale, séparée ainsi par une dépression (axe du golfe) de direction est–ouest.

La ligne du rivage a sans doute fluctué sur de grandes distances, selon une direction perpendiculaire, au gré des variations du niveau marin, entraînant, derrière elle, la migration de l'ensemble du domaine margino-littoral, avec sa couverture végétale.

### 4. Étude paléobotanique

Le matériel végétal se présente sous forme de restes fragmentaires d'une vingtaine de centimètres de longueur. Dans quelques cas, il a été possible de réaliser un transfert au collodion pour observer les structures épidermiques.

#### 4.1. *Piazopteris branneri* (White) Lorch (Fig. 3A)

Il s'agit de frondes fragmentaires ou de pennes isolées. Les pennes de 60 mm de longueur maximum sont en position alternes ou subopposées sur un rachis principal strié longitudinalement. Les pinnules opposées ou subopposées sur l'axe porteur sont linéaires à extrémité arrondie. Elles sont légèrement confluentes entre elles à leur base. Leur longueur varie entre 2 et 7 mm, leur largeur entre 0,7 et 2 mm. La nervation est caractéristique, avec une nervure principale bien marquée et des nervures secondaires faisant 5 à 6 arches près de la principale. De chaque arche partent 3 ou 4 nervures externes simples ou dichotomes.

##### 4.1.1. Discussion

Le matériel se rapporte au genre *Piazopteris* Lorch et à l'espèce *P. branneri* (White) Lorch. Cette espèce est connue en Israël, Madagascar, Amérique du Sud et également en Tunisie [8]. Dans le gisement ont été observées des pennes fragmentaires, mélangées avec de nombreux axes aplatis de plus de 20 mm de diamètre, ainsi que des extrémités circinées de frondes.

#### 4.2. *Brachyphyllum trauti* Barale & Contini (Fig. 3 B-C)

Ce sont des axes feuillés à ramifications alternes, dont le plus long mesure 140 mm. Les éléments de divers ordres (du premier et du deuxième) sont légèrement flexueux et font un angle voisin de 60° avec l'axe principal. Les rameaux ont un diamètre variant entre 3 et 6 mm et portent des feuilles insérées en spirale suivant une convergence 3/8. Celles-ci ont de 3–5 mm de longueur par 2–3 mm de largeur. Les cicatrices foliaires sont rhomboïdales, de 3–4 mm de long par 2–3 mm de large. La face supérieure des feuilles est en forme de croissant dont la longueur n'excède pas le tiers ou le quart de la longueur totale de la feuille. La face inférieure des feuilles est convexe et légèrement falciforme près de l'apex. Les structures épidermiques ont été observées sur des transferts réalisés avec du collodion. Seul l'épiderme inférieur a pu être étudié. Les appa-

reils stomatiques sont répartis en files, plus ou moins bien définies dirigées vers l'apex et séparées de 70 à 150  $\mu\text{m}$ . La densité des appareils est de 40 st/ $\text{mm}^2$ . Les appareils stomatiques sont de type haplochète monocyclique, incomplètement amphicyclique à 4, 5, 6 ou 7 cellules annexes (en général 5 ou 6). La surface péricleine des cellules annexes n'est jamais en contact avec l'orifice sus-stomatique caractérisé par un anneau faiblement cutinisé de 3 à 4  $\mu\text{m}$  de large. Les cellules épidermiques sont carrées à polygonales sans ordre défini, parfois disposées perpendiculairement à la direction des files stomatiques.

#### 4.2.1. Discussion

Le matériel se rapporte au genre *Brachyphyllum* Lindley et Hutton emend. Harris et à l'espèce *B. trauti* Barale & Contini du Bajocien franc-comtois [3]. Cette espèce est affine de *B. crucis* Kendall emend. Harris du Bajocien-Bathonien du Yorkshire. On la connaît également dans le Bathonien de l'Oxfordshire et le Callovien du Wiltshire [22]. Notre matériel semble identique à celui rapporté à *Brachyphyllum* sp. par El-Zouki [17] de la formation du Chateau-Mort du Nord-Ouest de la Libye, attribuée au Callovo-Oxfordien.

#### 4.3. *Pagiophyllum* cf. *crassifolium* Schenk (Fig. 3D)

Il s'agit d'un axe de conifère de 5 mm de diamètre, avec une ramification latérale. Cet axe est couvert de feuilles falciformes suivant une phyllotaxie 3/8. Les feuilles s'insèrent sur l'axe par un coussinet losangique de 2 mm de large et 3 mm de haut. Chaque feuille a 6–7 mm de long par 2 mm de large à la base, puis se rétrécit progressivement jusqu'au sommet qui est légèrement arrondi.

#### 4.3.1. Discussion

Le matériel se rapporte sans ambiguïté au genre *Pagiophyllum* Heer emend. Harris. La forme caractéristique des feuilles permet de le rapprocher de *P. crassifolium* Schenk du Wealdien du Nord de l'Allemagne [31,37]. En France, Carpentier [16] décrit, dans la flore wealdienne de Féron-Glagon du Nord de la France, des rameaux feuillés de *P. crassifolium* Schenk et *P. cf. crassifolium* Schenk. Dans la flore du Jurassique inférieur de Botany Bay (Antarctique), Rees et Cleal [36] signalent un rameau feuillé de *P. cf. crassifolium* Schenk. L'attribution incertaine de notre matériel au niveau spécifique est liée au fait que nous ne connaissons pas les structures épidermiques, alors qu'elles sont conservées pour l'espèce-type.

#### 4.4. *Araucarites* sp. (Fig. 3E)

Ce sont des écailles, isolées, de forme générale triangulaire-allongée de 32 mm de longueur et 12 mm dans la plus grande largeur. Chaque écaille mesure 4 mm de largeur dans sa partie proximale, puis s'évase vers le haut, en se terminant par une pointe rétrécie. Dans la partie basale, on peut observer l'emplacement d'un ovule de 14 mm de long par 4,5 mm de large. La distinction écaille ovulifère/bractée n'est pas nette, et la « ligule » n'a pas été observée. La surface de l'écaille montre quelques plis longitudinaux.

#### 4.4.1. Discussion

Il s'agit d'un ensemble écaille/bractée appartenant à une Araucariacée du genre *Araucarites* Presl. Si les contours de la bractée sont bien visibles, en revanche ceux de l'écaille ovulifère ne le sont pas. Il n'a pas été possible d'observer l'extrémité supérieure de l'écaille (« ligule » des auteurs anglo-saxons). Cette écaille de grande dimension est proche de celle décrite par Barale et al. [6] dans le Callovien du Poitou (France) et rapportée à *Araucarites pictaviensis* Barale. Le matériel de Tunisie est un peu plus long que celui du Poitou. Cependant, *Araucarites pictaviensis* Barale a été associée à *Brachyphyllum desnoyersii* [2]. Cette dernière espèce n'est pas présente à Beni Barka.

*Araucarites moreauana* (Saporta) Seward emend. Barale a des dimensions qui pourraient correspondre à celle du matériel de Tunisie. Cependant, cette espèce a été associée à *Brachyphyllum thuioides* (Pomel) Saporta emend. Barale dans l'Oxfordien moyen des environs de Verdun [2].

Du matériel rapporté à *Araucarites* Presl a été décrit par Barale et Ouaja dans le Jurassique supérieur-Crétacé inférieur de Merbah el Asfer (Tunisie) [5]. Cependant, la morphologie et la taille de l'écaille décrite sont très différentes de celles du matériel de Beni Barka.

Cette découverte est importante, puisqu'elle prouve la présence d'Araucariacées à cette époque dans le Sud de la Tunisie. Les structures épidermiques n'étant pas connues, il n'est pas possible d'associer ces écailles aux restes de conifères présents dans le gisement.

#### 4.5. *Podozamites* sp. (Fig. 3F)

Ce sont des folioles isolées de 163 mm de long par 18 mm dans leur plus grande largeur. Leur forme générale est rubanée. La plus grande largeur se situe vers le tiers basal, puis se rétrécit progressivement vers l'apex, qui est aigu. La partie proximale se termine par un « mucron » de 6 mm de large, qui correspond à une dimi-

nution brusque de la largeur de la foliole. La nervation est difficile à voir sur la totalité de la longueur des folioles. Il a été possible de dénombrer 13 nervures pour une largeur de 17 mm. Elles sont parallèles entre elles et s'arrêtent à différentes hauteurs dans la partie distale. La nervation basale n'a pas été observée.

#### 4.5.1. Discussion

La forme générale des folioles et l'observation de la nervation permettent d'attribuer le matériel au genre *Podozamites* Braun. D'un point de vue morphologique, le matériel est proche de celui attribué par Barale et Ouaja [5] dans le Jurassique supérieur/Crétacé inférieur de Merbah el Asfer (Sud de la Tunisie). L'échantillon incomplet de la figure 3C est identique aux échantillons observés dans le gisement. Le matériel diffère des nombreuses espèces de la flore rhétienne de Scoresby Sound [21].

En l'absence de connaissances des structures épidermiques, il est difficile d'affiner la détermination. Harris [21] propose le genre *Lindleycladus* pour des axes feuillés et folioles ressemblant à ceux de *Podozamites*, mais dont les appareils stomatiques sont orientés parallèlement à la nervation. Les structures épidermiques de notre matériel ne sont pas connues.

## 5. Comparaisons avec les autres inventaires floristiques

Les travaux de recherche paléobotanique entrepris depuis une dizaine d'années dans le Sud de la Tunisie ont permis de localiser de nombreux gisements à plantes (empreintes et (ou) structures) dans une série allant du Bathonien à l'Albien inférieur.

La flore la plus proche stratigraphiquement est celle du Bathonien de la formation Techout [8]. Elle est constituée de Ptéridophytes et Coniférophytes. On retrouve la même espèce de *Piaopteris branneri* (White) Lorch ; en revanche, les conifères sont représentés par la famille des Cheirolépidiacées, avec les genres *Cupressinocladus* Seward et *Agathoxylon* Hartig.

Les autres flores décrites dans le Sud de la Tunisie sont beaucoup plus riches en espèces pour les Ptéridophytes et les Coniférophytes.

D'autres flores sont connues au Jurassique moyen à supérieur sur la bordure nord-gondwanienne :

- flore de Makhtesh Ramon du Bajocien–Bathonien d'Israël [29] ;
- flore du Jurassique moyen d'Iran [10] ;

- flore du Callovo-Oxfordien de la formation du Chameau-Mort en Libye [17] ;
- flore probablement Jurassique du djebel Ben Ghnema décrite par Lejal-Nicol [28].

Toutes ces flores sont beaucoup plus diversifiées d'un point de vue taxonomique que la flore de Beni Barka, avec la présence de Bennettiales et (ou) de Cycadales. Cette absence de ces derniers groupes avait déjà été notée par Barale et al. [8] dans la composition floristique de la formation Techout.

Il est possible de faire des comparaisons avec les flores nord-téthysiennes de l'Ouest de l'Europe : flore du Bajocien de Pont-les-Moulins (France) [3], flore du Callovien du Poitou (France) [6], flore du Callovien d'Etrochey (France) [2].

Ces trois flores sont riches en Ptéridospermales et Bennettiales et présentent également des Conifères de la famille des Araucariacées et Cheirolépidiacées.

La composition taxonomique de Beni Barka est donc originale par l'absence de Bennettiales et aussi par la présence, dans la bordure nord du Gondwana, de *Brachyphyllum trausti* découvert pour la première fois dans cette région.

## 6. Reconstitution du milieu de dépôt

Au Callovien, sous un climat sub-tropical, le Sud-Est de la Tunisie correspond à une vaste plate-forme margino-littorale, située entre le craton africain, au sud, et l'océan Téthysien, au nord, dans laquelle pouvaient vivre de nombreux Vertébrés [38,39].

Les argiles à plantes, en lits d'épaisseur inframillimétrique à décimétrique, formaient initialement une vase meuble extrêmement fine, sédimentée au fond d'une lagune margino-littorale.

Ce fond de lagune devait être faiblement agité, car on y relève de faibles indices d'énergie hydrodynamique (désarticulation des carapaces de crustacés et des valves de lamellibranches, traces de fragmentations et mélange des restes végétaux) ; de plus, l'absence de tri granulométrique et l'excellent état de conservation des empreintes d'extrémités circinées de fougères (Fig. 3G), la présence d'axes traversant verticalement plusieurs feuillettes, sont l'indice de la sub-autochtonie du gisement. Le mélange de parties stériles et fertiles de conifères, d'axes, frondes et rhizomes de fougères corroborent cette idée. Une forêt de conifères de type ripisylve se développait autour de lagunes, abritant en sous-bois des fougères.

Les fonds de lagune devaient être, en outre, en permanence très peu oxygénés. Cela est en accord avec l'extrême rareté des organismes fouisseurs et avec le



mode de fossilisation remarquable des empreintes végétales, ce qui implique une teneur en oxygène libre très faible, ou même nulle, du sédiment vaseux.

## 7. Conclusion

Au Callovien, une végétation de fougères et conifères occupait une bande littorale dessinée par la ligne de rivage. Elle se concentrait autour des lagunes dispersées le long de la côte et séparées de cette dernière par un cordon littoral dunaire. Les dépôts sableux de ce dernier, ainsi que les argiles lagunaires, sont, le plus souvent, détruits par les transgressions marines, qui leur succèdent et ne sont que rarement préservées. C'est ce qui explique la rareté des niveaux à végétaux dans la série callovienne du Sud-Est de la Tunisie.

## Remerciements

Nous remercions Nicolas Labert de son aide pour la réalisation des figures. Cet article constitue la contribution n°UMR5125–07. 051.

## Références

- [1] Y. Almeras, R. Enay, C. Mangold, M. Soussi, K.E. El Asmi, P. Hantzpergue, Observations à la note : « Mise en évidence d'une flore oxfordienne dans le Sud-Est de la Tunisie : intérêts stratigraphique et paléocologique » par M. Ouaja et al. (2004), *Geobios* 37 (1) (2005) 89–97.
- [2] G. Barale, La Paléoflore jurassique du Jura français : étude systématique, aspects stratigraphiques et paléocologiques, *Doc. Lab. Geol. Lyon* 81 (1981) 1–333.
- [3] G. Barale, D. Contini, La Paléoflore continentale du Bajocien franc-comtois. Étude stratigraphique et paléobotanique du gisement de Pont-les-Moulins (Doubs), *Ann. Sci. Univ. Besançon, Geol.* 3 (19) (1974) 247–254.
- [4] G. Barale, M. Ouaja, Découverte de nouvelles flores avec des restes à affinités angiospermiennes dans le Crétacé inférieur du Sud tunisien, *Cretaceous Res.* 22 (2001) 131–143.
- [5] G. Barale, M. Ouaja, La biodiversité végétale des gisements d'âge Jurassique supérieur–Crétacé inférieur de Merbah el Asfer (Sud tunisien), *Cretaceous Res.* 23 (2002) 707–737.
- [6] G. Barale, E. Cariou, G. Radureau, Étude biostratigraphique et paléobotanique des gisements de calcaire blanc au nord de Poitiers, *Geobios* 7 (1) (1974) 43–70.
- [7] G. Barale, M. Philippe, B. Tayech-Mannai, M. Zarbout, Découverte d'une flore à Ptéridophytes et Gymnospermes dans le Crétacé inférieur de la région de Tataouine (Sud tunisien), *C. R. Acad. Sci. Paris, sér. IIa* 325 (1997) 221–224.
- [8] G. Barale, M. Ouaja, M. Philippe, Une flore bathonienne dans la formation Techout du Sud-Est tunisien, *Neues Jahrb. Geol. Paläontol. Monatsh.* 11 (2000) 681–697.
- [9] G. Barale, M. Zarbout, M. Philippe, Niveaux à végétaux fossiles en environnement fluviatile à marin proximal dans le Dahar (Bathonien à Albien – Sud tunisien), *Bull. Soc. geol. France* 169 (1998) 811–819.
- [10] P.D.W. Barnard, J.C. Miller, Flora of the Shemshak formation (Elburz, Iran). Part 3. Middle Jurassic, (Dogger) plants from Katumbergah, Vasek Gah and Imam Manak, *Palaeontographica* 155 (1–4) (1976) 31–117.
- [11] M.H. Ben Ismail, Les bassins mésozoïques (Trias à Aptien) du Sud de la Tunisie : stratigraphie intégrée, caractéristiques géophysiques et évolution géodynamique, Thèse d'État, université de Tunis-2, 1991, 446 p.
- [12] M. Ben Ismail, S. Bouaziz, Y. Almeras, P. Donze, R. Enay, M. Ghanmi, et al., Nouvelles données biostratigraphiques sur le Callovien et les faciès « purbecko-wealdiens » (Oxfordien à Vraconien) dans la région de Tataouine (Sud tunisien), *Bull. Soc. geol. France* 8 (V) (1989) 353–360.
- [13] E. Boureau, Contribution à l'étude paléoxylologique de l'Afrique du Nord (IV) : sur un échantillon de *Brachyoxylon* (*Telephragmoxylon*) du Jurassique moyen de Tunisie, *Bull. Soc. geol. France* 6 (2) (1953) 169–174.
- [14] É. Boureau, A.F. De Lapparent, Découvertes de structures de *Weichselia reticulata* Stokes et Webb (*Paradoxopteris stromeri* Hirmer) dans le Jurassique du Sud de la Tunisie, *C. R. Somm. Soc. geol. France* 7 (1951) 108–109.
- [15] G. Busson, Le Mésozoïque saharien. 1<sup>re</sup> partie : l'Extrême-Sud tunisien, Éd. CNRS, Paris, Centre Rech. Zones Arides, Géol., 8, 1967.
- [16] A. Carpentier, La flore wealdienne de Féron-Glazeon (Nord), *Mém. Soc. Geol. Nord* 10 (1927) 1–151.
- [17] A.Y. El Zouki, Stratigraphy and Lithofacies of the Continental clastics (Upper Jurassic and Lower Cretaceous) of Jabal Nafusah, NW Libya, in: M.J. Salem, M.T. Busrewil (Eds.), *The Geology of Libya*, Academic Press, London, 1980.
- [18] R. Enay, K.E. El Asmi, M. Soussi, C. Mangold, P. Hantzpergue, Un *Pachyerymnoceras* arabe dans le Callovien supérieur du Dahar (Sud tunisien), nouvel élément de datation du membre Ghomrassène (formation Tataouine) ; corrélations avec l'Arabie Saoudite et le Moyen-Orient, *C. R. Geoscience* 334 (2002) 1157–1167.
- [19] S. Freneix, G. Busson, Sur les faunes de Bivalves du Jurassique moyen et supérieur du Sahara tunisien, *C.R. Acad. Sci. Paris, Ser. D* 257 (9) (1963) 1631–1633.
- [20] B. Giraud, Sur une nouvelle espèce de *Protopodocarpoxyylon* du Mésozoïque du Sud tunisien, *Ann. Mines Géol.* 26 (1973) 407–417.
- [21] T.M. Harris, The fossil flora of Scoresby Sound East Greenland. Part 4: Ginkgoales, Coniferales, Lycopodiales and isolates fructifications, *Medd. Om Gronland* 112 (1935) 1–176.
- [22] T.M. Harris, The Yorkshire Jurassic Flora V. Coniferales, *British Museum (Nat. Hist.) London*, 1979.
- [23] F. Kamoun, Le Jurassique du Sud tunisien, témoin de la marge africaine de la Téthys : stratigraphie, sédimentologie et micropaléontologie, thèse de 3<sup>e</sup> cycle, université de Toulouse, 1989.
- [24] F. Kamoun, M. Ben Youssef, B. Peybernes, Stratigraphie séquentielle du Dogger et de la base du Malm (intervalle Aalénien – Kimméridgien) de l'Extrême-Sud de la Tunisie, *C. R. Acad. Sci., Paris, ser. II* 315 (1992) 1373–1379.
- [25] J.-C. Koeniguer, Sur de nouveaux échantillons de genre *Paradoxopteris*, *Mem. Soc. Geol. France* 105 (1966) 100–112.
- [26] J.-C. Koeniguer, Sur quelques structures de *Paradoxopteris* du Mésozoïque de Tunisie, *C. R. Somm. Soc. Geol. France* 16 (1971) 285–286.
- [27] J.-C. Koeniguer, Sur quelques structures des genres *Paradoxopteris* et *Alstaettia* du Mésozoïque de Tunisie, livre jubilaire M. Solignac, *Ann. Mines Géol.* 26 (1973) 419–429.

- [28] A. Lejal-Nicol, Sur la flore fossile de la formation Unar dans le djebel Ben Ghnema (Libye), C. R. Cong. Nat. Soc. Savantes, Bordeaux (1979) 103–119.
- [29] J. Lorch, A Jurassic flora of Makhtesh Ramon, Israel, *Isr. J. Bot.* 16 (1967) 131–155.
- [30] W. Mette, Palaeoecology and palaeobiogeography of the Middle Jurassic ostracods of southern Tunisia, *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 132 (1997) 65–111.
- [31] F. Michael, Palaeobotanische und Kohlenpetrographische Studien in der Nordwestdeutschen Wealden Formation, *Abhandl. Preuss. Geol.* 166 (1936) 1–79.
- [32] M. Ouaja, Étude sédimentologique et paléobotanique du Jurassique moyen–Crétacé inférieur du bassin de Tataouine (Sud-Est de la Tunisie), thèse, université Lyon-1, 2003.
- [33] M. Ouaja, M. Philippe, G. Barale, S. Ferry, M. Ben Youssef, Mise en évidence d'une flore oxfordienne dans le Sud-Est de la Tunisie : intérêts stratigraphique et paléocéologique, *Geobios* 37 (2004) 89–97.
- [34] B. Peybernès, Y. Almeras, M. Ben Youssef, F. Kamoun, J. Mello, J. Rey, et al., Nouveaux éléments de datation dans le Jurassique du Sud tunisien (plate-forme saharienne), C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II 300 (1985) 113–118.
- [35] H.W. Posamentier, G.P. Allen, D.P. James, M. Tesson, Forced regressions in a sequence stratigraphic framework: Concepts, examples and exploration significance, *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.* 76 (1992) 1697–1709.
- [36] P.M. Rees, C.J. Cleal, Lower Jurassic Floras from Hope Bay and Botany Bay, Antarctica, *Spec. Pap. Palaeontol.* 72 (2004) 1–90.
- [37] A. Schenk, Beiträge zur Flora der Vorwelt III. Die fossile Pflanzen der Wernsdorff Schichten in der Nordkarpathen, *Palaeontographica* 19 (1871) 1–34.
- [38] D. Srarfi, M. Ouaja, E. Buffetaut, G. Cuny, G. Barale, S. Ferry, et al., Position stratigraphique des niveaux à vertébrés du Mésozoïque du Sud-Est de la Tunisie, *Notes Serv. Geol. Tunisie* 27 (2004) 5–16.
- [39] D. Srarfi, Biostratigraphie, biodiversité, taphonomie et paléoenvironnements des niveaux à vertébrés du Jurassique–Crétacé du Sud-Est de la Tunisie. Implications paléobiogéographiques, thèse, université Lyon-1, 2006.
- [40] M. Veillet-Bartoszewska, Présence de *Dadoxylon* (*Araucarioxylon*) *furonii* nov. sp. dans le Continental intercalaire du Sud tunisien, *Bull. Soc. Geol. France* 5 (1955) 605–612.