



HAL
open science

Découverte de charophytes et ostracodes de l'Yprésien inférieur dans les Monts des Ksour (Algérie) : biostratigraphie et paléoécologie

Abdelkader Mennad, Mohammed Adaci, Rodolphe Tabuce, Carles Martín-Closas, Madani Benyoucef, Mustapha Bensalah, Olga Otero, Raphaël Sarr, Djamila Zaoui

► To cite this version:

Abdelkader Mennad, Mohammed Adaci, Rodolphe Tabuce, Carles Martín-Closas, Madani Benyoucef, et al.. Découverte de charophytes et ostracodes de l'Yprésien inférieur dans les Monts des Ksour (Algérie) : biostratigraphie et paléoécologie. *Annales de Paléontologie*, 2021, 107 (1), pp.102466. 10.1016/j.annpal.2020.102466 . hal-03432990

HAL Id: hal-03432990

<https://hal.umontpellier.fr/hal-03432990>

Submitted on 23 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Découverte de charophytes et ostracodes de l'Yprésien inférieur dans les Monts des Ksour (Algérie) : biostratigraphie et paléoécologie

Discovery of lower Ypresian charophytes and ostracods from the Ksour Mountains (Algeria): biostratigraphy and paleoecology

Abdelkader Mennad^a, Mohammed Adaci^a, Rodolphe Tabuce^b, Carles Martín-Closas^c, Madani Benyoucef^{*d}, Mustapha Bensalah^a, Olga Otero^e, Raphaël Sarr^e, Djamila Zaoui^a

^a Laboratoire de Recherche n° 25 « PRHPM-LECT », Université de Tlemcen, 13000 Tlemcen, Algérie. abdelkadermennad@gmail.com ; mustaphabensalah48@gmail.com zaouidjm@gmail.com ; m_adaci@yahoo.fr.

^b Institut des Sciences de l'Évolution (UM, CNRS, IRD, EPHE), Université de Montpellier, Place Eugène-Bataillon, 34095 Montpellier cedex 5, France. Rodolphe.Tabuce@umontpellier.fr.

^c Departament de Dinàmica de la Terra i de l'Oceà, Facultat de Ciències de la Terra, Universitat de Barcelona - UB, Martí i Franqués s/n, 08028 Barcelona, Catalonia, Spain. cmartinclosas@ub.edu.

^{*d} Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université de Mustapha Stambouli de Mascara, 29000 Mascara, Algérie, benyoucefmada@gmail.com.

^e Institut de Paléoprimatologie, Paléontologie Humaine : Évolution et Paléoenvironnements (iPHEP) - UMR CNRS 7262, Université de Poitiers, Poitiers, France. olga.otero@univ-poitiers.fr.

^f Département de Géologie, Laboratoire de Sédimentologie et Biostratigraphie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, B.P. 5005, Dakar-Fann, Sénégal. mbundor52@yahoo.fr.

* Auteur correspondant

Résumé

Dans la partie sud-est des Monts des Ksour (Algérie), une étude stratigraphique, paléontologique et sédimentologique a été effectuée sur les couches rouges qui affleurent sur la rive gauche de l'Oued Tafarahit. Il s'agit d'une série continentale détritique granodécroissante composée de microconglomérats, de grès et d'argiles attribuées au Cénozoïque sans preuve paléontologique. Les niveaux argileux ont livré des charophytes [*Peckichara atlasensis*, *Maedleriella cristellata*, *Nitellopsis (Tectochara) thaleri*, *Grovesichara* sp. et *Lamprothamnium papulosum*] et des ostracodes (*Neocyprideis meguerchiensis*, *Cyprinotus* ? sp et *Herpetocypris* ? sp). Cette faune et flore permettent d'assigner la Formation Détritique de l'Oued Tafarahit à l'Yprésien inférieur et de confirmer l'existence d'une relation paléobiogéographique étroite entre l'Afrique du Nord et l'Europe du Sud pendant l'Éocène inférieur. La sédimentologie et les microfossiles suggèrent un dépôt dans un environnement fluvial. Les ostracodes sont typiques des milieux dulçaquicoles à euryhalins. Les formes dulçaquicoles (*Cyprinotus* ? sp. et *Herpetocypris* ?sp.) correspondent probablement à des phases de dessalure lors des périodes de crue. En revanche, l'espèce d'eau saumâtre (*Neocyprideis meguerchiensis*) est caractéristique des phases de salure lors des périodes d'étiage.

Mots-clés : Afrique, Atlas Saharien, Éocène inférieur, charophytes, ostracodes, systématique, paléobiogéographie.

Abstract

A stratigraphic, palaeontological and sedimentological study was carried out in the red beds cropping out on the left side of Oued Tafarahit, south-east of the Ksour Mountains (Algeria). The studied succession consists of a non-marine fining-upward detrital formation, including microconglomerate, sandstone and clay beds, which were previously attributed to the Cenozoic *sensu lato*, since no paleontological evidence was available. The clayey levels sampled yielded the assemblage formed by the charophytes [*Peckichara atlasensis*, *Maedleriella cristellata*, *Nitellopsis (Tectochara) thaleri*, *Grovesichara* sp., and *Lamprothamnium papulosum*] and the ostracods *Neocyprideis meguerchiensis*, *Herpetocypris* ? sp. and *Cyprinotus* ? sp. This assemblage allows constraining the age of the detrital series from Oued Tafarahit to the Ypresian. Sedimentology and microfossils suggest deposition in a fluvial environment.

Ostracods are typical of freshwater to euryhaline environments. The freshwater taxa (*Herpetocypris* ? sp. and *Cyprinotus* ? sp.) would indicate phases of desalinisation during periods of flood. However, the brackish water species (*Neocyprideis meguerchiensis*) is characteristic of saline phases related to low water table periods. Moreover the charophyte and ostracod assemblage confirms a close palaeobiogeographic relationship between North Africa and Southern Europe during the Lower Eocene.

Key-words : Africa, Saharian Atlas, Ypresian, charophytes, ostracods, systematics, palaeobiogeography.

1. Introduction

Le Paléogène continental est encore peu documenté en Algérie, seul l'Éocène a été mis en évidence dans l'Atlas Saharien central, dans les Hautes Plaines Oraïnes et dans les Hammadas sahariennes où des localités fossilifères ont livré des charophytes et des ostracodes (Mebrouk *et al.*, 1997, Mebrouk et Feist, 1999 ; Mebrouk *et al.*, 2011, 2013 ; Adaci *et al.*, 2007 ; Hammouda *et al.*, 2016, 2018). Pendant cette période de temps, à l'échelle de l'Atlas Saharien, on observe des variations de faciès et d'épaisseur, allant d'un pôle occidental (Monts des Ksour) et central (Djebel Amour) caractérisé par des dépôts exclusivement continentaux (Jodot, 1953 ; Emberger, 1960 ; Bassoullet, 1973 ; Mahboubi, 1983 ; Bensalah, 1989, 1991 ; Mahboubi, 1995) à un pôle oriental (massif des Aurès) dominé par des faciès franchement marins (Laffite, 1939 ; Flandrin, 1948 ; Grékoff, 1969 ; Faïd, 1989 ; Faïd, 1995, 1999). Cette diversité d'environnements est étroitement liée aux conditions paléogéographiques caractérisant les bassins atlasiques pendant l'Éocène inférieur (Fig. 1A).

En ce qui concerne les dépôts continentaux, c'est dans l'Atlas Saharien central (Djebel Amour) que les données paléontologiques et lithostratigraphiques sont les plus fournies. Deux formations lithostratigraphiques ont été définies (Fig. 1B) : (i) La Formation d'El Kohol datée de l'Yprésien inférieur par une association de charophytes et de vertébrés (Mahboubi, 1983, Mahboubi *et al.*, 1986 ; Mahboubi, 1995 ; Mebrouk *et al.*, 1997 ; Benoit *et al.*, 2016) appuyée par des données paléomagnétiques (Coster *et al.*, 2012) ; (ii) la Formation de l'Oued Meguerchi attribuée à l'Yprésien inférieur grâce à un assemblage formé de charophytes et d'ostracodes (Mebrouk *et al.*, 1997 ; Mebrouk et Feist, 1999 ; Mebrouk *et al.*, 2011, 2013). En revanche, les corrélations et datations sont complexes dans l'Atlas Saharien occidental (Monts des Ksour), à cause des changements rapides de faciès et d'épaisseur des formations continentales et de l'absence de marqueurs biostratigraphiques. Pour cette raison, nos prédécesseurs (Flamand, 1911 ; Cornet, 1952 ; Jodot, 1953 ; Bassoullet, 1973 ; Mahboubi, 1983) ont proposé un âge post-Turonien pour l'ensemble des sédiments continentaux, soit Crétacé supérieur (?) ou Cénozoïque.

À partir d'une analyse lithologique et biostratigraphique des dépôts détritiques qui affleurent sur la rive gauche de l'Oued Tafarahit (Fig. 1), nous complétons la description stratigraphique et paléontologique de la série cénozoïque de l'Atlas Saharien dans sa partie occidentale.

2. Cadre géographique et géologique

L'Atlas Saharien constitue une chaîne de montagnes s'étendant sur environ 1200 Km selon une direction SW-NE, depuis la terminaison orientale du Haut Atlas marocain jusqu'à la partie occidentale de l'Atlas tunisien. Il est limité au nord par le domaine des Hauts plateaux ; au sud, il est séparé de la plate-forme saharienne par une série d'accidents tectoniques connus dans son ensemble comme « flexure sud-atlasique » (Laffitte, 1939). Dans la terminaison orientale des Monts des Ksour (partie occidentale de l'Atlas Saharien), le synclinal de Rhelida-Tismert (Fig. 2) est dominé par un réseau hydrographique remarquable, dont les principaux cours d'eau sont : l'Oued El Abiodh, l'Oued Kherouaa, l'Oued El Feyad, l'Oued El Medina et l'Oued Tafarahit. Les affleurements étudiés sont situés sur la rive gauche de ce dernier (Fig. 2A) avec les coordonnées UTM (30S) : X = 244387 m E ; Y = 3634211 m N.

La série détritique continentale de l'Oued Tafarahit repose en discordance sur des assises carbonatées céno-mano-turonniennes de la Formation de Rhoundjaïa (Benyoucef *et al.*, 2017). Cet ensemble légèrement incliné vers le Sud, a été affecté par des pulsations successives de l'orogénèse atlasique éocène (Ritter, 1902 ; Laffitte, 1939 ; Mahboubi, 1983 ; Yelles-Chaouche *et al.*, 2006).

3. Matériel et Méthodes

Au cours des prospections faites entre 2016 et 2018 sur la rive gauche de l'Oued Tafarahit, aucun macrofossile n'a été découvert. Le long de la coupe, 24 échantillons (notés OT) de sédiments meubles ont été prélevés. Le sédiment de l'ensemble des échantillons récoltés (38 kg) a été désagrégé dans l'eau avec addition, pour chaque kilogramme de sédiment, de 50 ml d'eau oxygénée à 110 volumes et de 50 g de bicarbonate de sodium. Le tamisage a été effectué avec deux tamis de mailles décroissantes (400 et 250 µm). Afin d'éviter toute contamination, les tamis ont été trempés au bleu de méthylène puis lavés après chaque changement de niveau. Le résidu de lavage de chacun des niveaux a été trié sous loupe binoculaire. Sur les 24 échantillons traités, uniquement 4 sont fossilifères : OT-9 ; OT-11 ; OT-16 ; OT-20. Les spécimens étudiés sont conservés dans les collections du Laboratoire de Recherche-n° 25 «P.R.H.P.M», de l'Université de Tlemcen (Algérie), sous le numéro d'enregistrement UTL25-OT suivi du numéro d'échantillon et du numéro de spécimen.

4. Description de la coupe

La série détritique post-turonienne qui borde l'Oued Tafarahit est ici nommée Formation de l'Oued Tafarahit (Fig. 2B) ; elle peut être subdivisée en deux membres (Fig. 3A).

Le Membre argilo-gréso-conglomératique (6 m) est formé d'une alternance d'argiles rouges avec des grès à passées de conglomérats chenalisés (Fig. 3B). Les niveaux conglomératiques présentent une base ravinante et sont dépourvus de structures internes, leur épaisseur est décimétrique et leur largeur est métrique. Ils contiennent des dragées de quartz et des éléments calcaires érodés du substrat crétacé, en général subarrondis, de taille millimétrique à centimétrique et présentant un grano-classement positif (Fig. 3C). Les bancs gréseux sont de granulométrie moyenne ; ils montrent des galets mous et des laminations parallèles et obliques. Sur l'ensemble du membre inférieur on note une granodécroissance. Les résidus des lavages effectués dans les niveaux argileux n'ont livré aucun fossile.

Le Membre gréso-argileux (20 m) est composé d'une alternance d'argiles verdâtres ou rougeâtres avec des grès fins à moyens, à passées micro-conglomératiques minces. Les bancs gréseux sont de couleur brun-rouge foncée, d'épaisseur centimétrique à décimétrique ; leur surface est le plus souvent modelée par des rides d'oscillation asymétriques moulant parfois des traces fossiles. Les bancs gréseux (Fig. 3D-E) se distinguent aussi par une lamination plane parallèle ou faiblement ondulée, des faisceaux de lamines obliques et entrecroisées, et des laminations convolutées (Fig. 4A). La limite basale des bancs est plane ou repose sur une surface d'érosion peu marquée (Fig. 4C) ; elle peut parfois contenir des clastes argileux plus ou moins indurés et mouler des figures de charges (Fig. 4B). Les argiles verdâtres montrent des intercalations millimétriques, planes ou ondulées, de silt à réseaux de fentes de dessiccation (Fig. 4D). Elles sont interstratifiées, aussi, avec des niveaux gypseux millimétriques. Les résidus des lavages effectués dans les niveaux argileux verdâtres ont livré des ostracodes, des charophytes et des restes sub-millimétriques de poissons téléostéens. Ces derniers feront l'objet d'une étude ultérieure.

5. Paléontologie systématique

5. 1. Charophytes

Les niveaux à charophytes de la coupe de l'Oued Tafarahit ont livré une association formée de cinq espèces de la famille des Characeae. Les gyrogonites sont en très bon état de conservation.

Division Charophyta Migula, 1897

Classe Charophyceae Smith, 1938

Ordre Charales Lindley, 1836

Famille Characeae (Richard ex C. Agardh, 1824) emend. Martín-Closas et Schudack, 1991

Sous-famille Charoïdeae von Leonhardi, 1863

Genre *Peckichara* Grambast, 1957

***Peckichara atlasensis* Mebrouk et Feist, 1999**

1999 *Peckichara atlasensis* Mebrouk et Feist, p 43, pl. 2, fig.14-18.

Fig. 5A-C

Matériel : Une centaine de gyrogonites a été retrouvée aussi bien dans le niveau OT-11 que dans le niveau OT-16 ; une vingtaine gyrogonites dans le niveau OT-20.

Description : Gyrogonite généralement sphéroïdale à forme ovoïde large-ellipsoïdale, de taille grande, avec 850 à 900 µm de longueur et 775 à 800 µm de largeur ; Index d'Isopolarité variant entre 110-112. Nombre de tours de spires visibles en vue latérale occasionnellement 9, le plus souvent de 10 à 11, d'une hauteur variant entre 110-112 µm. Les cellules spiralées sont convexes ; ornées de gros tubercules bien individualisés et disposées régulièrement sur les spires, séparées entre eux par un espace équivalent au diamètre d'un tubercule. Leur forme est arrondie près de la base et plus allongée vers le sommet de la gyrogonite. Les tubercules disparaissent au niveau des zones basale et apicale. Base arrondie avec un pore basal pentagonal, de 90 à 110 µm de diamètre. Le sommet est arrondi et montre cinq nodules apicaux individualisés en forme de virgule. Les cellules spiralées sont légèrement rétrécies et amincies au niveau de la zone périapicale.

Intervalle stratigraphique de l'espèce : Éocène inférieur (Yprésien) selon Mebrouk *et al.* (2013).

Rapports et différences : Par ses caractères morphologiques, notamment de la zone apicale, les gyrogonites étudiées ici se rapprochent du groupe d'espèces de *Peckichara varians*

Grambast 1957, caractérisé par Riveline (1986). En comparaison avec la population type décrite à Oued Meguerchi (Algérie) par Mebrouk et Feist (1999), le matériel décrit ici est légèrement plus petit et plus allongé (Tabl. 1).

Paléoécologie : À partir des données des ostracodes associés, décrits par Mebrouk *et al.* (2013) dans l'Oued Meguerchi, cette espèce pourrait appartenir à un milieu méso- à polyhalin.

Distribution paléogéographique : Jusqu'à présent, *P. atlasensis* était uniquement connue dans l'Éocène inférieur (Yprésien inférieur) de la Formation de l'Oued Meguerchi dans l'Atlas Saharien central (Mebrouk *et al.*, 1999, 2013).

Genre *Maedleriella* Grambast, 1957
Maedleriella cristellata Grambast, 1977

1977 *Maedleriella cristellata* Grambast, p. 16-19, fig. 11, pl. 5, fig.1-3.

Fig. 5D-G

Matériel : Une seule gyrogonite dans le niveau OT-9 ; une centaine de gyrogonites dans le niveau OT-11 ; mille gyrogonites dans chacun des niveaux OT-16 et OT-20.

Description : Gyrogonite de petite taille et de forme oblate (la largeur excédant la longueur), aplatie à subglobuleuse, avec 385 à 400 µm de longueur sur 415 à 435 µm de largeur, avec un Index d'Isopolarité de 91 à 93. Ornementation en crête médiane qui peut occuper jusqu'à la moitié de la largeur cellulaire, plus ou moins régulière, laissant toujours visible la suture intercellulaire. Les cellules spiralées montrent 5 à 6 tours de spires en vue latérale ; hautes de 50 à 115 µm. Au niveau du sommet, les crêtes intercellulaires disparaissent dans la zone périapicale pour réapparaître sous forme de nodules plus ou moins saillants et de taille variable. La base est arrondie et montre aussi la disparition de la crête médiane autour d'un pore basal large et pentagonal.

Rapports et différences : Par sa forme générale, ses dimensions et son ornementation, *Maedleriella cristellata* Grambast, 1977 n'offre guère de confusion possible avec d'autres espèces. Les caractéristiques morphométriques des spécimens étudiés sont très similaires avec celles de la population-type du Bassin de Paris (Tabl. 2).

Intervalle stratigraphique de l'espèce : Thanétien supérieur-Yprésien inférieur d'accord avec Riveline (1986).

Paléocologie : Ce taxon est fréquent dans des dépôts limniques et laguno-limniques (Massieux *et al.*, 1981a ; Massieux *et al.*, 1981b ; Ullastre et Masriera, 1998).

Distribution paléogéographique : Ce taxon présente une répartition paléogéographique assez large dans les bassins de l'Europe occidentale et de l'Afrique du Nord. La population type a été récoltée dans le Thanétien des marnes voisines du conglomérat de Cernay (Grande Sablière de Berru) du Bassin de Paris (Grambast, 1972b). Cette espèce a ensuite été retrouvée dans le Paléocène (Thanétien) et l'Éocène du Massif de Mouthoumet (Aude) du Sud-Ouest de la France (Massieux *et al.*, 1981a et Massieux *et al.*, 1981b) et dans le Paléocène de la Formation de Tresp dans les Pyrénées catalanes en Espagne (Feist et Colombo, 1983).

En Afrique du Nord, *Maedleriella cristellata* est connue dans l'Éocène inférieur (Yprésien inférieur) de la Formation de l'Oued Meguerchi dans l'Atlas Saharien central d'Algérie (Mebrouk *et al.*, 2013) et dans le Paléocène supérieur (Thanétien) de la Formation de Hammada d'Oum es Sbaa dans le Sahara nord-occidental algérien (Hammouda *et al.*, 2016, 2018), et enfin dans le Paléocène de la Formation de Bekrit-Timahdit dans le Moyen Atlas au Maroc (Grambast, 1977 ; Mebrouk, 2011 ; Mebrouk *et al.*, 2009).

Genre *Nitellopsis* (Hy) Grambast et Soulié-Märsche, 1972

Sous-genre *Tectochara* (L. et N. Grambast, 1954) Grambast et Soulié-Märsche, 1972

Nitellopsis (*T.*) *thaleri* (Castel et Grambast, 1969) Grambast et Soulié-Märsche, 1972

1969 *Tectochara thaleri* Castel et Grambast, p. 936, pl. 30, fig.1-10.

1972 *Nitellopsis* (*T.*) *thaleri* Grambast et Soulié-Märsche, p. 11.

Fig. 5H-J

Matériel : Deux-cent gyrogonites dans l'échantillon OT-9 ; cinquante dans l'échantillon OT-20.

Description : Gyrogonites de grande taille, variant entre 750 et 900 μm de longueur et 700 à 850 μm de largeur, avec un Index d'Isopolarité de 106 à 107. Forme générale sphéroïdale. Les cellules spiralées montrent 8 à 9 tours de spires avec une hauteur variant de 125 à 175 μm . Elles sont généralement convexes, ornées de tubercules arrondis, peu saillants, disposés régulièrement et séparés entre eux d'une distance équivalente à deux tubercules. Apex et base arrondis. Dans la région périapicale, les cellules spiralées montrent un amincissement et rétrécissement nets pour se joindre dans l'apex avec des nodules apicaux individualisés moins développés. La zone basale est caractérisée par un entonnoir basal de périmètre pentagonal, bien marqué. Le pore basal s'ouvrant au fond de l'entonnoir, mesure 60 à 90 μm .

Rapports et différences : La population type de cette espèce a été décrite dans l'Éocène des Corbières au sud-ouest de la France (Castel et Grambast, 1969). La population étudiée ici est relativement plus petite et plus allongée (Tabl. 3). Les populations décrites de l'Oued Meguerchi par Mebrouk *et al.* (2013) montrent des gyrogonites très proches de ceux décrits ici, à l'exception du nombre de tours de spire qui est plus grand.

Intervalle stratigraphique : *Nitellopsis (T.) thaleri* est une espèce caractéristique de l'Yprésien supérieur (Cuisien) et du Lutétien inférieur, pouvant se retrouver quand même jusqu'au Bartonien inférieur (Riveline, 1986). Elle est également présente dans l'Yprésien inférieur d'Algérie (Mebrouk *et al.*, 2013).

Paléoécologie : La paléoécologie de cette espèce n'a jamais été étudiée en détail. Cependant, elle a été retrouvée en abondance dans des niveaux strictement lacustres de la localité de Santa Maria de Miralles, dans le bassin de l'Ebre oriental en Catalogne (Anadón et Feist, 1981).

Distribution paléogéographique : Cette espèce est très abondante en Europe occidentale, notamment dans le Sud de la France et le nord-est de l'Espagne (Anadón et Feist, 1981). En Algérie, cette espèce se retrouve dans l'Éocène inférieur (Yprésien inférieur) de la Formation de l'Oued Meguerchi, Atlas Saharien central (Mebrouk *et al.*, 2013) et dans l'Éocène inférieur-moyen de la Formation du Hammada du Gour Lazib du Sahara Nord occidental (Adaci *et al.*, 2007, 2016 ; Mebrouk, 2011). Dans les Hauts plateaux du Sud oranais, elle est connue dans l'Yprésien du gisement de Hadjrat Zennad (Mebrouk *et al.*, 1997 ; Mebrouk, 2011). Au Maroc, *Nitellopsis (T.) thaleri* est connue dans l'Yprésien moyen, dans le gisement de N'Tagourt-2 situé au Sud du Haut-Atlas (Gheerbrant *et al.*, 1993 ; Mebrouk, 2011).

Genre *Grovesichara* Horn af Rantzien, 1959

Grovesichara sp.

Fig. 5 K-M

Matériel : Trois gyrogonites dans le niveau OT-11 et une seule gyrogonite dans le niveau OT-20.

Description : Gyrogonite de taille grande, de forme sub-sphérique à sphérique, ayant 800 à 900 µm de long, et 650 à 700 µm de large. Index d'Isopolarité variant de 123 à 128. Généralement 8 tours de spires sont visibles latéralement. Cellules spiralées lisses, assez larges et le plus souvent convexes ou plates. La hauteur de spire, variant de 80 à 120 µm, reste constante dans tout le parcours de cellule spiralée. Région apicale saillante avec les cellules spiralées d'abord

amincies et ensuite renflées formant une rosette apicale. Pore basale large entouré d'un entonnoir peu marqué. , oblitéré par une plaque basale de section pentagonale et probablement visible de l'extérieur, mais qui n'est pas sur place dans les quelques spécimens disponibles.

Rapports et différences : Les gyrogonites étudiées se rapprochent en taille et morphologie de *Grovesichara distorta* (Reid et Groves, 1921) Horn af Rantzien, 1959, qui est une espèce connue du Bartonien-Priabonien du Bassin de Paris. Cependant le nombre trop réduit de gyrogonites empêche une détermination plus précise de ce matériel.

Genre *Lamprothamnium* Groves, 1916

Lamprothamnium papulosum (Wallroth, 1833) Groves, 1916

Fig. 5N

1833 *Chara papulosa*, Wallroth, p.107

1916 *Lamprothamnium papulosum*, Groves, p. 336.

1969 *Lamprothamnium priscum* nov. sp., Castel et Grambast, p. 940-941, pl. 32 : figs 4-7

Matériel : 22 gyrogonites dans l'échantillon OT-16, souvent pas bien conservés, avec des traces de fragmentation, érosion ou dissolution.

Description : Gyrogonites de taille moyenne, avec une longueur de 419-540 µm et une largeur de 202-294 µm, prolates (ISI 162-208), de forme cylindroïde à conique longue, souvent avec la largeur maximale dans la moitié apicale. Cellules spiralées hautes de 33-47 µm, planes ou légèrement convexes, avec 12-15 tours de spire en vue latérale. Apex tronqué avec une dépression périapicale bien marquée et le centre saillant, souvent ouvert par déhiscence. Base arrondie ou légèrement tronquée. Pore basale petit.

Rapports et différences : Le matériel étudié se rapproche davantage de l'espèce actuelle. *L. papulosum*, que de *L. priscum* Feist et Castel (1969) de l'Éocène inférieur du Languedoc (France), par la forme nettement plus allongée des gyrogonites et un plus grand nombre de tours de spire (8-10 dans *L. priscum*). Soulié-Märsche (1989) a proposé une synonymie entre ces deux espèces.

Intervalle stratigraphique : La synonymie proposée par Soulié-Märsche (1989) entre *L. papulosum* et *L. priscum* détermine que le rang chronostratigraphique total de *L. papulosum* serait au moins du Cuisien-récent.

Paléoécologie : *L. papulosum* est considérée une espèce saumâtre (e.g. Corillion, 1972). Elle peut survivre végétativement même dans des milieux hypersalins (Burne *et al.*, 1980). Cependant elle est fertile et peut produire des gyrogonites uniquement dans un rang de salinité plus restreint, de 20-40 g/l (Soulié-Märsche, 1998 et 2008). L'état de préservation des gyrogonites étudiées indiquerait qu'ils auraient souffert un certain transport avant son enterrement définitif.

Distribution paléogéographique : *L. papulosum* est distribuée dans l'actualité en Afrique, Europe et Australie (Corillion, 1972).

5. 2. Ostracodes

Dans la série de l'Oued Tafarahit, trois espèces d'ostracodes de trois familles différentes ont été retrouvées. Ce sont par ordre d'abondance *Neocyprideis meguerchiensis*, *Cyprinotus* ? sp. et une autre espèce qui reste non identifiée car les rares restes sont trop mal conservés ; il pourrait s'agir d'un *Herpetocypris*.

Classe Ostracoda Latreille, 1806
Sous-classe Podocopa G. W. Müller, 1894
Ordre Podocopida Sars, 1866
Sous-ordre Podocopina Sars, 1866
Super-famille Cytheroidea Baird, 1850
Famille Cytherideidae Sars, 1925
Sous-famille Cytherideinae Sars, 1925
Genre *Neocyprideis* Apostolescu, 1956

***Neocyprideis meguerchiensis* Mebrouk, Colin et Hennache, 2011**

2011 *Neocyprideis meguerchiensis*, Mebrouk, Colin et Hennache, p. 95, pl. 1, fig.1-8.

2013 *Neocyprideis meguerchiensis*, Mebrouk, Colin et Hennache, p. 567, pl. II, fig.1-4.

Fig. 6A-K

Matériel : Quatre-vingt-huit carapaces et valves provenant des niveaux OT-16 et OT-20.

Dimensions : Longueur = 0,59 à 0,77 mm ; Hauteur = 0,30 à 0,44 mm.

Rapports et différences : La forme, la taille et l'ornementation de notre matériel sont tout à fait conformes à la description et aux figurations d'origine (Mebrouk *et al.*, 2011). Le polymorphisme signalé dans la description d'origine se retrouve dans notre matériel : on trouve des individus à ornementation réticulée, à ornementation réticulée à faiblement tuberculée et à ornementation réticulée-tuberculée. La Formation de l'Oued Tafarahit constitue le second site

où *Neocyprideis meguerchiensis* a été reconnue dans l'Éocène continental d'Algérie après celui de l'Oued Meguerchi (Mebrouk *et al.*, 2011). Notre matériel est le plus souvent représenté par des carapaces entières alors que dans la localité-type les valves isolées dominent.

Cette espèce est proche de *Neocyprideis simplex* (Siddiqui, 2000) mais s'en distingue par son ornementation ponctuée, le bord dorsal rectiligne et le recouvrement bien distinct de la valve gauche sur la valve droite. Le genre *Neocyprideis* se limite en Algérie à l'Atlas Saharien et à l'Éocène. Faid (1999) signale aussi trois espèces non décrites dans le Lutétien des Aurès (Atlas Saharien oriental) : *Neocyprideis* sp. 1, *Neocyprideis* sp. 2 et *Neocyprideis* sp. 3.

Paléoécologie : Le polymorphisme du genre *Neocyprideis*, avec des morphes tuberculés à réticulés, indique un milieu aquatique dont les caractéristiques physico-chimiques varient avec des apports saisonniers (Carbonel *et al.*, 1988a, 1988b). L'absence des formes lisses suggère que ce milieu n'atteignait pas l'équilibre entre les ions Mg^{2+} et Ca^{2+} . D'après la classification des salinités de Venise (Calinano *et al.*, 1961), ce genre peut s'adapter à des milieux oligo-euryhalin où la salinité varie de 1 à 35 ‰ (Tabl. 4). La prédominance des carapaces entières par rapport aux valves isolées dans l'ensemble du matériel (Fig. 6A-K) caractérise un assemblage autochtone, donc une thanathocénose.

Distribution paléogéographique du genre en Europe et en Afrique : En Europe le genre est connu depuis le Cénomaniens (Colin *et al.*, 1990) jusqu'à l'Oligocène dans les différents bassins. En France il est connu dans les bassins de Paris (Paléocène supérieur à Éocène supérieur ; Guernet, 1981 ; Ducasse *et al.*, 1985 ; Keen, 1990), d'Aquitaine (Éocène supérieur et Oligocène ; Deltel, 1962), de Haute Provence (Éocène supérieur et Oligocène ; Apostolescu et Guernet, 1992) et du Sud de la France (Paléocène supérieur à Éocène inférieur ; Tambareau, 1972 ; Ducasse *et al.*, 1985 ; Tambareau *et al.*, 1989). Il est également connu dans l'Oligocène d'Allemagne (Malz et Triebel, 1970) et dans l'Éocène supérieur de Grande-Bretagne (Keen, 1977 ; 1990). Selon Babinot *et al.* (1996), le genre *Neocyprideis*, comme les genres *Perissocytheridea*, *Frambocythere* et *Sarlatina*, sont des taxons importants pour comprendre les relations paléobiogéographiques entre diverses provinces d'Europe.

En Afrique, le genre est connu dans l'Éocène inférieur du Sénégal (Carbonnel, 1989) et dans l'Éocène moyen en Somalie (Bassiouni et Luger, 1996).

Sous-famille Cyprinotinae Bronstein, 1947

Genre *Cyprinotus* Brady, 1886

Cyprinotus ? sp. sensu Hammouda *et al.*, 2018

Fig. 6L-M

Matériel : Douze carapaces et valves ; dans les niveaux OT-11, OT-16 et OT-20.

Dimensions : Longueur = 1,13 à 1,21mm ; Hauteur = 0,72 à 0,77 mm.

Description : La carapace est sub-rectangulaire, fortement renflée, et dépourvue d'ornementation. Le bord dorsal est convexe et légèrement pentu à l'arrière. Le bord ventral est rectiligne et légèrement relevé à l'arrière. Le bord antérieur est obliquement arrondi, avec un angle antéro-dorsal saillant. La bordure marginale antérieure est déprimée et porte des fossettes peu marquées. Le bord postérieur est arrondi et pointu. La plus grande hauteur se situe à l'angle antéro-dorsal. La valve gauche est plus grande que la valve droite. Les caractères internes n'ont pas été observés.

Rapports et différences : L'état de préservation du matériel ne permet pas une identification générique précise. *Cyprinotus* ? sp. montre quelques ressemblances avec une espèce du même genre figurée dans l'Éocène de la Formation d'Oum Sebaa des Hammadas sahariennes (Hammouda *et al.*, 2018). Elle s'en distingue par sa taille plus petite, son angle cardinal antérieur obtus et son bord dorsal fortement convexe.

Paléoécologie : Le genre *Cyprinotus* est dulçaquicole (Tabl. 4) et caractéristique des lacs peu profonds (Mourguiart et Carbonel, 1994). D'après Janz (1992), le genre renferme des taxons nageurs se reproduisant par parthénogenèse.

6. Implication biostratigraphique

La localité étudiée se situe dans la partie sud-est des Monts des Ksour, stratigraphiquement cartographiée comme des terrains continentaux tertiaires (Fig. 2A). Cette attribution a été réalisée sur la base de synthèses monographiques générales (Flamand, 1911 ; Cornet, 1952) ou d'étude cartographique (Galmier, 1970). La nouvelle proposition d'âge de ces terrains que nous proposons repose sur les éléments biostratigraphiques apportés par les charophytes.

Les charophytes récoltées à intérêt biostratigraphique montrent les extensions suivantes (Tabl. 5) :

Maedleriella cristellata : Thanétien supérieur-Yprésien inférieur,

Peckichara atlasensis : Yprésien inférieur,

Nitellopsis (Tectochara) thaleri : Yprésien inférieur-Lutétien inférieur.

Sur cette base, nous attribuons un âge Yprésien inférieur pour les niveaux fossilifères de la Formation de l'Oued Tafarahit (Tabl. 5). Cette attribution est concordante avec la présence de *Neocyprideis meguerchiensis*, puisque cet ostracode est connu actuellement que dans l'Yprésien de l'Atlas Saharien central.

7. Paléoenvironnement

Le paléoenvironnement est déterminé sur la base des arguments sédimentologiques et paléontologiques révélés par notre étude. La tendance granulométrique décroissante, les laminations parallèles et obliques, la présence des traces fossiles d'origine continentale démontrent que la série étudiée s'est déposée dans un milieu fluvio-lacustre soumis à des périodes de crues et d'assèchement. Les passées microconglomératiques et l'absence de bioturbation dans le faciès gréseux à passées grossières sont dues au niveau hydrodynamique élevé probablement en relation avec des périodes de crues. Les fentes de dessiccation et les passées évaporitiques traduisent des périodes d'assèchement. Les espèces de charophytes de l'Oued Tafarahit, i.e. *Maedleriella cristellata*, *Peckichara atlasensis*, *Nitellopsis (Tectochara) thaleri*, *Grovesichara* sp. et *Lamprothamnium papulosum*, sont des biomarqueurs à large spectre biogéographique en Europe et Nord de l'Afrique. Les gyrogonites de charophytes sont mentionnées dans quatre niveaux (OT-9, OT-11, OT-16 et OT-20) où elles sont très abondantes et généralement bien conservées (à l'exception de *L. papulosum*). Reconnus dans des faciès limniques et, en fonction des espèces, aussi saumâtres, ces taxons sont caractéristiques d'un milieu lacustre, fluvio-lacustre ou d'un complexe laguno-lacustre (Anadón et Feist, 1981 ; Soulié-Märsche, 1998 et 2008 ; Ullastre et Masriera, 1998 ; Mebrouk *et al.*, 2013). En outre, les ostracodes (*Neocyprideis meguerchiensis*, *Cyprinotus* et *Herpetocypris*) sont également recueillis dans les trois échantillons (OT-11, OT-16 et OT-20), et sont caractérisés par des carapaces à ornements réticulés, tuberculés ou lisses. Ces variations ornementales reflètent des fluctuations saisonnières et sporadiques du milieu (Hartmann, 1982 ; Bodergat *et al.*, 1991).

8. Conclusion

La carte géologique d'Algérie au 1:100 000 (feuille d'El Abiodh Sidi Cheikh) montre dans la région d'étude des terrains du Cénozoïque continental sans apporter de précision chronostratigraphique ni des données paléontologiques. La coupe levée au lieu-dit Oued Tafarahit, situé sur la bordure sud-est de l'Atlas Saharien occidental (Monts des Ksour) apporte de nouvelles informations stratigraphiques et paléoenvironnementales.

La série compte deux membres : un membre argilo-grésoconglomératique, à la base et un membre grésosargileux, au sommet. Quatre niveaux argileux verdâtres du membre supérieur se sont révélés riches en flore et en faune. Les associations de charophytes comptent cinq espèces : *Peckichara atlasensis*, *Maedleriella cristellata*, *Nitellopsis (Tectochara) thaleri*, *Grovesichara* sp. et *Lamprothamnium papulosum*. La faune d'ostracodes comprend trois espèces : *Neocyprideis meguerchiensis*, *Herpetocypris* ? sp. et *Cyprinotus* ? sp. Les charophytes, décrites dans plusieurs localités et formations en Afrique (Algérie et Maroc) et en Europe (France et Espagne), nous ont permis d'attribuer les niveaux fossilifères de la Formation détritique de l'Oued Tafarahit à l'Yprésien inférieur.

Les ostracodes appartiennent à des genres strictement dulçaquicole ou saumâtre. Leur présence simultanée est interprétée comme résultant d'une alternance de phases de salures et de dessalures contrôlées par les phases de crues et d'étiages. La combinaison des données paléontologiques et sédimentologiques a permis de d'envisager un milieu de dépôt fluvio-lacustre. Au plan biogéographique, la Formation yprésienne de l'Oued Tafarahit est corrélée avec les formations de l'Oued Meguerchi et d'El Kohol dans l'Atlas Saharien central et avec la partie supérieure de la Formation d'Oum Sebaa dans le Sahara Nord-occidental (secteur de Méridja-Dermchane) (Mebrouk, 2011 ; Mebrouk *et al.*, 2013 ; Hammouda *et al.*, 2016, Hammouda *et al.*, 2018).

La répartition des charophytes étudiées confirme l'existence de relations biogéographiques entre les bassins maghrébins d'Afrique du Nord et les bassins européens au cours de l'Yprésien (Tabuce et Marivaux, 2005 ; Gheerbrant et Rage, 2006).

Remerciements

Les auteurs remercient la communauté technique, scientifique et civile qui a aidé et facilité les travaux tant sur le terrain qu'au laboratoire. Les spécimens d'ostracodes ont été photographiés à l'Institut Européen des Membranes de Montpellier (France) tandis que les gyrogonites de charophytes l'ont été à l'Université de Barcelone (Espagne).

Références

- Adaci, M., Tabuce, R., Mebrouk, F., Bensalah, M., Fabre, P.H., Hautier, L., Jaeger, J.J., Lazzari, V., Mahboubi, M., Marivaux, L., Otero, O., Peigné, S., Tong, H., 2007. Nouveaux sites à vertébrés paléogènes dans la région des Gour Lazib (Sahara nord-occidental, Algérie). *Comptes Rendus Palevol* 6, 535-544.
- Adaci, M., Bensalah, M., Tabuce, R., Mebrouk, F., Marivaux, L., Otero, O., Zaoui, D., Benyoucef, M., Mahboubi, M., 2016. L'Éocène continental du complexe de Gour Lazib (Sahara Nord-occidental, Algérie). *Mémoire du Service Géologique de l'Algérie* 19, 63-89.
- Agardh, C.A., 1824. *Systema Algarum*. Literis Berlingianis, Lund. 312, Characeae, p. XXVII-XXVIII, 123-130.
- Anadón, P., Feist, M., 1981. Charophytes et biostratigraphie du Paléogène inférieur du bassin de l'Ebre oriental. *Palaeontographica*, 178 (4-6), 143-168.
- Apostolescu, V., 1956. Contribution à l'étude des ostracodes de l'Éocène inférieur (s. 1) du bassin de Paris. *Revue de l'Institut Français du Pétrole* 11, 1327-1352.
- Apostolescu, V., Guernet, C., 1992. Les ostracodes de la région Forcalquier Manosque (bassin continental d'Apt ; Haute Provence). *Revue de Micropaléontologie* 35, 91-115.
- Babinot, J.F., Colin, J.P., Tambareau, Y., 1996. Late Cretaceous non marine Ostracods from Europe: biostratigraphie, paléobiogéographie and taxonomy. *Cretaceous Research*, 17, 151-167.
- Baird, W., 1850. *The Natural History of the British Entomostraca*. Ray Society, London, 364pp, pls. 1-36.
- Bassiouni, M.A.A., Luger, P., 1996. Middle Eocene ostracoda from northern Somalia. *Courier Forschungs Institut Senckenberg* 129, 1-139.
- Bassoullet, J.P., 1973. Contribution à l'étude stratigraphique du mésozoïque de l'Atlas Saharien Occidental (Algérie). Thèse de Doctorat d'État, Sciences Naturelles, Université de Paris VI, 497 p.
- Benoit, J., Crochet, J.Y., Mahboubi, M., Jaeger, J.J., Bensalah, M., Adaci, M., Tabuce, R., 2016. New material of *Seggeurius amourensis* (Paenungulata, Hyracoidea), including a partial skull with intact basicranium. *Journal of Vertebrate Paleontology* 36 (1) : e 1034358-1034352.

Bensalah, M., 1989. L'Éocène continental d'Algérie : importance de la tectogenèse dans la mise en place des sédiments et des processus d'épigénie dans leur transformation. Diplôme Doctorat, Lyon, 149p.

Bensalah, M., 1991. Analyses tectono-sédimentaire de la série continentale Éocène du Djebel El-Kohol, près de Brézina (revers Sud de l'Atlas Saharien, Algérie. *Acta Geologica Hispanica* 26, 151-158.

Benyoucef, M., Mebarki K., Ferré, B., Adaci, M., Bulot, L., Desmares, D., Villier, L., Bensalah, M., Frau, F., Ifrim, C., Malti, F.Z., 2017. Litho- and biostratigraphy, facies patterns and depositional sequences of the Cenomanian-Turonian deposits in the Ksour Mountains (Saharan Atlas, Algeria). *Cretaceous Research* 78, 34-55.

Bodergat, A.M., Rio, M., Andréani, A. M., 1991. Composition chimique et ornamentation de *Cyprideis torosa* (Crustacea, ostracoda) dans le domaine paralique. *Oceanologica Acta* 14, 505-514.

Brady, G.S., 1886. Notes on Entomostraca collected by A. Haly in Ceylon. *J. Linnean Soc.* 19, 293-317.

Bronstein, Z.S., 1947. Ostracoda presnykh vod. Fauna SSR, Rakoobraznye, Tom2, vyp. 1. Moscow; zoologiches kii Institut, Akademiya Nauk SSSR. [English translation (1988): Freshwater ostracoda. Fauna of the USSR, Crustaceans, 2, No. 1. New Delhi; Amerind publishing Co. pvt, Ltd. for the us Department of the Interior and the National Science Foundation.].

Burne, R.V., Bauld, J.I, Deccker, P. de, 1980. Saline lake charophytes and their geological significance. *Journal of Sedimentary Petrology*, 50, 281-293

Calinano, L., Dhorn, P., Motalenti, G., Puri, H.S., 1961. The Venice system for the classification of brackish-waters according to salinity. *Pub. Staz. Zool. Napoli*, 33, 611-612.

Carbonel, P., Mourguiart, P., Peypouquet, J.P., 1988a. Le polymorphisme induit par l'environnement : rôle du rythme saisonnier. *Strata* 4, 1-12.

Carbonel, P., Colin, J.P., Danieleopol, D., Löffler, H., Neustrueva, I., 1988b. The paleoecology of limnic ostracodes, a review of some major topics. *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoclimatology*, special issue 62, 413-461.

Carbonnel, G., 1989. Un ostracode filtreur *Ouachitaia guiersensis* n. sp. (Eocène, Sénégal). Bulletin Geologic Institut, University of Uppsala 12, 135-141.

Castel, M., Grambast, L., 1969. Charophytes de l'Éocène des Corbières. Bulletin de la Société Géologique de France 7, 936-943.

Colin, J.P., Carbonel, P., Olteanu, R., 1990. A review of the paleobiogeography and paleoecology of the closest group of Cytherissa : from the Cenozoic *Cyprithes*. In : Danielopol, D.L., Carbonel, P., Colin, J.P (eds), *Cytherissa* (ostracoda). The Drosophila of paleolimnology. Bulletin de l'Institut de Geology du Bassin d'Aquitaine 47-48, 119-134.

Corillion, R. 1972. Les Charophycées de France et de l'Europe occidentale. Travaux du Laboratoire de Botanique de la Faculté des Sciences Angers, 11-12, 499 p.

Cornet, A., 1952. Monographies régionales de l'Atlas Saharien Sud-Oranais. XIXe Congrès Géologique International 1^{er} série ; Algérie n° 12.

Coster, P., Benammi, M., Mahboubi, M., Tabuce, R., Adaci, M., Marivaux, L., Bensalah, M., Mahboubi, S., Mahboubi, A., Maameri, C., Jaeger, J.J., 2012. Chronology of the Eocene continental deposits of Africa : magnetostratigraphy and biostratigraphy of the El Kohol and Glib Zegdou Formations, Algeria. Geological Society of America Bulletin 124, 1590-1606.

Deltel, B., 1962. Nouveaux ostracodes de l'Éocène et de l'Oligocène de l'Aquitaine méridionale. Actes de la Société Linnéenne de Bordeaux, 100, 127-211.

Ducasse, O., Guernet, C., Tambareau, Y., 1985. Paléogène. In : Oertli H.J (éd.), Atlas des ostracodes de France. Bulletin des Centres de Recherche Exploration Production Elf-Aquitaine, Pau, Mémoire 9, P. 257-311.

Emberger, 1960. Esquisse géologique de la partie orientale des monts des Ouled Naïl (Atlas saharien, Algérie). Bulletin du Services de la Carte géologique de l'Algérie, 399 p.

Faïd, N., 1989. Contribution à l'étude des ostracodes de l'Éocène du Sud des Aurès (Algérie). Diplôme d'études approfondies, option micropaléontologie, Université de Paris 6, 51p. (inédit).

Faïd, N., 1995. Contribution à l'étude stratigraphique de l'Éocène des Aurès et des régions limitrophes (Atlas saharien, Algérie). Thèse de Doctorat de l'Université d'Orléans, 238p. (inédit).

- Faïd, N., 1999. Ostracodes de l'Éocène inférieur-moyen de l'Atlas saharien oriental (Algérie) : Interprétation environnementale et paléogéographique. *Geobios* 32, 3, 459-481.
- Feist, M., Colombo, F., 1983. La limite Crétacé-Tertiaire dans le Nord-Est de l'Espagne, du point de vue des charophytes. *Géologie Méditerranéenne* 3-4, 303-226.
- Flamand, G.B.M., 1911. Recherche géologique et géographique sur le Haut pays de l'Oranais et sur le Sahara (Algérie et Territoire du Sud). Thèse ès sciences, Lyon (1001 p.).
- Flandrin, J., 1948. Contribution à l'étude stratigraphique du Nummulitique algérien. *Bulletin du Service de la Carte géologique de l'Algérie* 2, 19, 335p.
- Galmier, D., 1970. Carte géologique de l'Algérie, feuille d'El Abiodh Sidi Cheikh. *Bulletin du Service de la carte Géologique de l'Algérie (nouvelle série)*.
- Gheerbrant, E., Cappetta, H., Feist, M., Jaeger, J.J., Sudre, J., Vianey-Liaud, M., Sigé, B., 1993. La succession des faunes de vertébrés d'âge Paléocène supérieur et Éocène inférieur dans le bassin d'Ouarzazate, Maroc. Contexte géologique, portée biostratigraphique et paléogéographique. *Newsletters on Stratigraphy* 28, 33-58.
- Gheerbrand, E., Rage, J.C., 2006. Paleobiogeography of Africa : How distinct from Gondwana and Laurasia ? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 241, 224-246.
- Grambast, L., Grambast, N., 1954. Sur la position systématique de quelques charophytes tertiaires. *Revue Générale de Botanique* 61, 665-671.
- Grambast, L., 1957. Ornementation de la gyrogonite et systématique chez les charophytes fossiles. *Revue générale de Botanique* 64, 339-362.
- Grambast, L., 1972. Étude sur les charophytes tertiaires d'Europe occidentale. I : Genre *Tectochara*. *Paléobiologie Continentale*, 3, 2, 1-30.
- Grambast, L., Soulié-Märsche, I., 1972. Sur l'ancienneté et la diversification des *Nitellopsis* (charophytes). *Paléobiologie Continentale*, III (3), 1-14.
- Grambast, L., 1977. Étude sur les charophytes tertiaires d'Europe occidentale. II. Espèces nouvelles de l'Éocène inférieur. *Paléobiologie Continentale* 8, 1-27.

Grékoff, N., 1969. Sur la valeur stratigraphique et les relations paléogéographiques de quelques ostracodes du Crétacé, du Paléocène et de l'Éocène inférieur d'Algérie orientale. 3^{ème} Colloque Africain de Micropaléontologie, Le Caire 1968, 227-248.

Groves, J., 1916. On the name *Lamprothamnus* Braun. Journal of Botany 54, 336-337.

Guernet, C., 1981. Ostracodes sparnaciens du Bassin de Paris (France). Revue de Micropaléontologie 4, 841-9193.

Hammouda, S.A., Mebrouk, F., Adaci, M., Bensalah, M., Mahboubi, M., 2016. Discovery of a charophyte locality and biostratigraphy of the continental Eocene deposits of Oued Méridja (Southwestern Algeria). Revue de micropaléontologie, 59, 445-456.

Hammouda, S.A., Sames, B., Adaci, Mohammed., Bensalah, M., 2018. First record of nonmarine ostracods from the paleogene 'hamadian deposits' of Méridja area, west of Bechar (Southwestern Algeria). Annales de Paléontologie, 104, 27-44.

Hartmann, G., 1982. Variation in surface ornament of the valves of three ostracods species from Australia. in : Fossil and Recent ostracods. British Micropaleontological Society. R. H. Bate, E. Robinson and L. M. Sheppard, éditeurs 19, 365-380.

Horn af Rantzen, H., 1959. Morphological types and organ-genera of Tertiary charophytes charophyte fructifications. Stockholm Contributions in Geology 4, 45-197.

Janz, H., 1992. Die miozänen Süßwasser Ostrakoden des Steinheimer Beckens (Schwäbische Alb, Süddeutschland). Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, serie B 183, 117p.

Jodot, P., 1953. Les pseudoceratodes du Nummulitique continental circum saharien. Bulletin du Service de la Carte Géologique de l'Algérie. 1^{ère} ser. Paleont. n°17, 124p.

Keen, M.C., 1977. Ostracods assemblages and depositional environments of the Headon, Osborne and Bembridge Bends (Upper Eocene) of the Hampshire Basin. Palaeontology 20, 2, 405-445.

Keen, M.C., 1990. The ecology and evolution of the Paleogene ostracod *Neocyprideis*. Courier Forschungstintut Senckenberg, 123, 217-228.

Laffite, R., 1939. Étude géologique de l'Aurès. Bulletin du Service de la Carte Géologique de l'Algérie, 2, 15, 451p.

Latreille, P.A., 1806. Genera crustaceorum et insectorum secundum ordinem naturalem in familias disposita, iconibus exemplisque, plurimis explicata. Amand Koenig, Parisiis et Argentorati (Paris et Strasbourg), 1 : XVIII, 303 p.

Lindley, J., 1836. A natural system of Botany. Longman, 2nd edition, 526p.

Mahboubi, M., 1983. Étude géologique et paléontologique du Crétacé post-Aptien et du Tertiaire de la bordure méridionale du Djebel Amour (Atlas saharien central, Algérie). Thèse de 3^{ème} cycle, Université d'Oran, 114 p. (inédit).

Mahboubi, M., 1995. Étude géologique et paléontologique des formations continentales paléocènes et éocènes d'Algérie. Université d'Oran, 169 p. (inédit).

Mahboubi, M., Aneur, R., Crochet, J.Y., Jaeger, J.J., 1986. El Kohol (Atlas Saharien, Algeria) : a new Eocene mammal locality in northwestern Africa. *Palaeontographica* 192, 15-49.

Malz, H., Triebel, E., 1970. Ostracoden aus dem Sannois und jüngeren Schichten des Mainzer Beckens, 2: *Hemicyprideis* n.g. *Senckenbergiana Lethaea*, Frankfurt am Main, 5, 11-47.

Martín-Closas, C., Schudack, M.E., 1991. Phylogenetic analysis and systematisation of postpaleozoic charophytes. *Revue de la Société Botanique de France* 138, 53-71.

Massieux, M., Tambareau, Y., Villate, J., 1981a. Charophytes thanétiennes et Ilerdiennes de la couverture occidentale du Massif de Mouthoumet (Aude). *Géologie Méditerranéenne* 8, 1-17.

Massieux, M., Tambareau, Y., Villate, J., 1981b. Characées paléocènes et éocènes du versant Nord des Pyrénées. *Revue de Micropaléontologie* 24, 69-82.

Mebrouk, F., 2011. Les charophytes du Maghreb, systématique, biostratigraphie et environnements Crétacés-Paléogènes. Université d'Oran, 196 p.

Mebrouk, F., Feist, M., 1999. Nouvelles charophytes de l'Éocène continental de l'Algérie. *Géologie Méditerranéenne*, 26, 29-45.

Mebrouk, F., Colin, J.P., Hennache., 2011. Un gisement d'ostracodes non marins dans l'Éocène inférieur du Djebel Amour, Atlas saharien central, Algérie : taxonomie, paléoécologie et paléobiogéographie. *Carnets de Géologie*, 83-97.

- Mebrouk, F., Hennache, F., Colin, J.P., Mahboubi, M., Mansour, B., 2013. Charophytes et ostracodes de l'Éocène inférieur de l'Oued Meguerchi (Atlas saharien central, Algérie) : taxonomie, biostratigraphie et paléoécologie. *Revue de Paléobiologie*, 32, 2, 557-668.
- Mebrouk, F., Mahboubi, M., Bessedik, M., Feist, M., 1997. L'apport des charophytes à la stratigraphie des formations continentales paléogènes de l'Algérie. *Geobios* 30, 171–177.
- Migula, M., 1897. Die Characeen Deutschlands, Österrichs und der Schweiz. In : Rabenhorst. X. (Ed) *Kryptogamic Flora*, E. Kummer, Leipzig, 5, 765p.
- Mourguiart, Ph., Carbonel, P., 1994. A quantitative method of palaeolake level reconstruction using ostracod assemblages : an example from the Bolivian Altiplano. *Hydrobiologia* 188, 183-193.
- Müller, G.W., 1894. Die Ostracoden des Golfes von Neapel. Verlag von R. Friedländer und Sohn.
- Reid, C., Groves, J., 1921. The Charophyta of the Lower Headon Beds of Hordle (Hordwell) Cliffs (South Hampshire). *Quarterly Journal of the Geological Society of London*, 77, 175-192.
- Ritter, E.A., 1902. Le Djebel Amour et les monts des Ouled Naïl. *Bulletin du Service de la Carte Géologique de l'Algérie*, 100 p.
- Riveline, J., 1986. Les charophytes du Paléogène et du Miocène inférieur d'Europe occidentale. In : *Cahiers de Paléontologie*. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris, 227 p.
- Sars, G.O., 1866. Oversigt as Norges marine ostracoden. *Förhandlingar I Videnskabs-Selskabet I Christiania* 7, 1-130.
- Sars, G.O., 1925. An Account of the Crustacea of Norway, Vol. IX, ostracoda, Bergen (in publication). Mentions, on p. 137, the collecting of *Pionocypris helvetica* kaufm. at Ottawa, Ontario., by F. Johansen.
- Siddiqui, Q.A., 2000. Same species of the genus *Neocyprideis* in the early Tertiary of Pakistan. *Journal of Micropaleontology* 19, 1-7.
- Smith, G.M., 1938. Charophyceae. In : *Cryptogamic Botany, Algae and Fungi*. McGraw Hill, New York, 1, 127-135.

Soulié-Märsche, I., 1989. Étude comparée de gyrogonites de charophytes actuelles et fossiles et phylogénie des genres actuels. Imprimerie des Tilleuls, Millau, France, 237 p.

Soulié-Märsche, I., 1998. Fossil *Lamprothamnium papulosum* (Charophyta), a biomarker for seasonal rainfall in northern Mauritania. In : Heine, K. (ed.), Palaeoecology of Africa and the surrounding islands. Vol. 25, A. Balkema, Rotterdam, 65-78.

Soulié-Märsche, I., 2008. Charophyte indicators of low salinity phases in North African sebkhet. *Journal of African Earth Sciences* 51, 69-76.

Tabuce, R., 2002. Mammifères du Paléogène ancien d'Afrique du Nord occidentale : systématique, paléobiogéographique et apport à la phylogénie des "ordres endémiques africains". Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 2323 p.

Tabuce, R., Marivaux, L., 2005. Mammalian interchanges between Africa and Eurasia : an analysis of temporal constraints for the plausible Paleogene anthropoid dispersion. *Anthropological Science* 112, 27-32.

Tambareau, Y., 1972. Thanétien supérieur et Ilerdien inférieur des Petites Pyrénées, du Plantaurel et des chaîons audois. *Travaux du Laboratoire de Géologie-Pétrologie de l'Université Paul Sabatier, Toulouse*, 376p.

Tambareau, Y., Feist, M., Gruas-Cavagnetto, C., Murru, M., 1989. Caractérisation de l'Ilerdien continental dans le domaine ouest-méditerranéen. *Compte Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, n°308, P. 689-695.

Ullastre, J., Masriera, A., 1998. Nuevas aportaciones al conocimiento estratigráfico del paleoceno continental del Pirineo Catalán (España). *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona* 7, 95-128.

Wallroth, F. G., 1833. *Flora Cryptogamica Germaniae. Pars posterior, continens algas et fungos.* In : Bluff, M.J. et Fingerhuth, C.A. (eds) *Compendium Florae Germaniae : Sectio II. Plantae cryptogamicae s. cellulosae.* Norimbergae, 923p.

Yelles-Chaouche, A., Boudiaf, A., Djellit, H., Bracene, R., 2006. La tectonique active de la région nord-algérienne. *Comptes Rendus Geosciences*, 338, 126-139.

Figures

Fig. 1. Localisation du secteur d'étude. **A.** Carte paléogéographique du Maghreb pendant l'Éocène inférieur (in Tabuce, 2002, modifiée) ; 1. Éocène inférieur de l'Atlas Saharien central, 2. Éocène inférieur de l'Atlas Saharien occidental. **B.** Carte géographique montrant la localité de trois gisements fossilifères découverts dans l'Éocène inférieur continental de l'Atlas Saharien, 1. Gisement de la Formation de l'Oued Meguerchi (Mahboubi, 1995), 2. Gisement de la Formation d'El Kohol (Mahboubi, 1983), 3. Gisement de la Formation de l'Oued Tafarahit (ce travail).

Location of the study area. A. Palaeogeographic map of the Maghreb during the Lower Eocene (in Tabuce, 2002, modified) ; 1. Lower Eocene of the Central Saharan Atlas; 2. Lower Eocene of Western Saharan Atlas; B. Geographic map showing the location of the Lower Eocene fossiliferous sites of the Saharan Atlas, 1. Oued Meguerchi Formation section (Mahboubi,

1995), 2. *El Kohol Formation section (Mahboubi, 1983)*, 3. *Oued Tafarahit Formation section (this study)*.

Fig. 2. **A.** Carte géologique de la région étudiée. Extrait de la feuille d'El Abiodh Sidi Cheikh au 1/100 000 (Galmier, 1970). **B.** Colonne lithostratigraphique de la Formation de l'Oued Tafarahit.

A. Geologic map of the studied area. Part from the sheet of El Abiodh Sidi Cheikh at 1/100 000 (Galmier, 1970). B. Lithostratigraphic column of the Oued Tafarahit Formation.

Fig. 3. Principaux faciès sédimentaires de la Formation de l'Oued Tafarahit. **A.** Vue panoramique montrant la Formation détritique de l'Oued Tafarahit. **B** et **C.** Quelques détails montrant des chenaux grésu-conglomératiques du membre inférieur, B. 1, conglomérat à galets granoclassés ; 2, faciès gréseux à laminations obliques et parallèles. La base du chenal est soulignée par une surface d'érosion, **C.** Vue de détail présentant une alternance de microconglomérat à grano-classement positif (1) avec des niveaux gréseux minces à laminations parallèles (2), et des argiles rougeâtre à verdâtre (3). **D.** Bancs gréseux à laminations obliques et entrecroisées (Membre supérieur). **E.** Banc gréseux à laminations parallèles (membre supérieur).

The main sedimentary facies of the Oued Tafarahit Formation. A. Panoramic view showing the Oued Tafarahit detrital Formation. B and C. Some details showing sandstoneconglomeratic channels of the lower member, B. 1, conglomerate with graded pebbles; 2, sandstone with oblique and parallel laminations. The base of the channel is marked by an erosion surface. C. Detail view presenting an alternation of upward-fining microconglomerate (1) with parallel-laminated sandstone (2), and clays reddish to greenish (3). D. Oblique- and cross-laminated sandstone (upper member). E. Parallel-laminated sandstone (upper member).

Fig. 4. Structures et figures sédimentaires du Membre supérieur de la Formation détritique de l'Oued Tafarahit. **A.** Banc gréseux à laminations convolutées (flèches). **B.** Figures de charge à la base d'un banc gréseux. **C.** Banc gréseux montrant une base ravinante et des stratifications obliques au sommet. **D.** Polygones de dessiccation au sommet d'un faciès silto-argileux.

Sedimentary structures of the upper member of the Oued Tafarahit Formation. A. Sandstone bed showing convolute-bedding (arrows). B. Load casts at the base of a sandstone bed that rests on green clay. C. Sandstone bed showing erosion base and oblique stratification at the top. D. Desiccation polygons at the top of silty clays.

Fig. 5. Charophytes de la Formation de l'Oued Tafarahit (Sud-Est des Monts des Ksour). **A-C.** *Peckichara atlasensis* ; **A.** Vue apicale, n° d'inventaire UTL25-OT-11-1. **B.** Vue latérale, n° d'inventaire UTL25-OT-11-2. **C.** Vue basale, n° d'inventaire UTL25-OT-11-3. **D-G.** *Maedleriella cristellata* ; **D.** Vue latérale montrant une fine crête mi-cellulaire, UTL25-OT-20-4. **E.** Vue latérale montrant une large crête mi-cellulaire, n° d'inventaire UTL25-OT-20-5. **F.** Vue apicale, n° d'inventaire UTL25-OT-20-6. **G.** Vue basale, n° d'inventaire UTL25-OT-20-7. **H-J.** *Nitellopsis (Tectochara) thaleri* ; **H.** Vue latérale, n° d'inventaire UTL25-OT-9-8. **I.** Vue apicale, n° d'inventaire UTL25-OT-9-9. **J.** Vue basale, UTL25-OT-9-10. **K-M.** *Grovesichara* sp. ; **K.** Vue latérale, n° d'inventaire UTL25-OT-11-11. **L.** Vue basale, n° d'inventaire UTL25-OT-11-12. **M.** Vue apicale, n° inventaire UTL25-OT-11-13. **N.** *Lamprothamnium papulosum*, Vue latérale, n° inventaire UTL25-OT-16-14.

Charophytes of the Oued Tafarahit Formation (Southeast of Ksour Mountains). **A-C.** *Peckichara atlasensis*; **A.** Apical view, specimen UTL25-OT-11-1. **B.** Lateral view, specimen UTL25-OT-11-2. **C.** Basal view, specimen UTL25-OT-11-3. **D-G.** *Maedleriella cristellata*, **D.** Lateral view showing a fine mid-cellular crest, specimen UTL25-OT-20-4. **E.** Lateral view showing a wide mid-cellular crest, specimen UTL25-OT-20-5. **F.** Apical view, specimen UTL25-OT-20-6. **G.** Basal view, specimen UTL25-OT-20-7. **H-J.** *Nitellopsis (Tectochara) thaleri*; **H.** Lateral view, specimen UTL25-OT-9-8. **I.** Apical view, specimen UTL25-OT-9-9. **J.** Basal view, specimen UTL25-OT-9-10. **K-L.** *Grovesichara* sp. ; **K.** Lateral view, specimen UTL25-OT-11-11. **L.** Basal view, specimen UTL25-OT-11-12. **M.** Apical view specimen UTL25-OT-11-13. **N.** *Lamprothamnium papulosum*, lateral view, specimen UTL25-OT-16-14.

Fig. 6. Ostracodes de la Formation de l'Oued Tafarahit (Sud-Est des Monts des Ksour). **A-K.** *Neocyprideis meguerchiensis* ; **A.** Valve droite mâle, réticulée-lisse, en vue latérale, n° d'inventaire UTL25-OT-9-15. **B.** Valve gauche mâle, réticulée-lisse, en vue latérale, n° d'inventaire UTL25-OT-9-16. **C.** Carapace femelle, tuberculée-réticulée, en vue dorsale, n° d'inventaire UTL25-OT-9-17. **D.** Carapace mâle réticulée-lisse, en vue dorsale, n° d'inventaire UTL25-OT-9-18. **E.** Carapace mâle réticulée-lisse en vue dorsale, n° d'inventaire UTL25-OT-9-19. **F.** Carapace femelle tuberculée en vue dorsale, n° d'inventaire UTL25-OT-9-20. **G.** Valve gauche femelle tuberculée-réticulée, en vue latérale gauche, n° d'inventaire UTL25-OT-9-21. **H.** Valve gauche femelle tuberculée-réticulée, en vue latérale, n° d'inventaire UTL25-OT-9-22. **I.** Valve gauche mâle tuberculée, en vue latérale, n° d'inventaire UTL25-OT-9-23. **J.** Valve interne de valve droite femelle montrant la charnière (flèche noir) et la lamelle interne (flèche blanche), n° d'inventaire UTL25-OT-9-24. **K.** Carapace mâle réticulée-lisse en vue

dorsale, n° d'inventaire UTL25-OT-9-25. **L** et **M**. *Cyprinotus* ? sp. ; **L**. Carapace mâle en vue latérale droite, n° d'inventaire UTL25-OT-9-26. **M**. Carapace femelle en vue dorsale, n° d'inventaire UTL25-OT-9-27.

Ostracodes of the Oued Tafarahit Formation (Southeast of Ksour Mountains). **A-K**. *Neocyprideis meguerchiensis*; **A**. Right valve, male, reticulated-smooth, right side view, specimen UTL25-OT-9-15. **B**. Left valve, male, reticulated-smooth, left side view, specimen UTL25-OT-9-16. **C**. Carapace, female, tuberculated-reticulated, dorsal view, specimen UTL25-OT-9-17. **D**. Carapace, male, reticulated-smooth, dorsal view, specimen UTL25-OT-9-18. **E**. Carapace, male, reticulated-smooth, dorsal view, specimen UTL25-OT-9-19. **F**. Carapace, female, tuberculated, dorsal view, specimen UTL25-OT-9-20. **G**. Left valve, female, tuberculated-reticulated, left side view, specimen UTL25-OT-9-21. **H**. Left valve, male, tuberculated, left side view, specimen UTL25-OT-9-22. **I**. Left valve, male, tuberculated, right side view, specimen UTL25-OT-9-23. **J**. Right valve, female, internal view, hinge (black arrow), inner lamella (white arrow), specimen UTL25-OT-9-24. **K**. Carapace, male, reticulated-smooth, dorsal view, specimen UTL25-OT-9-25. **L** and **M**. *Cyprinotus* ? sp.; **L**. Carapace, male, right side view, specimen UTL25-OT-9-26. **M**. Carapace, female, dorsal view, specimen UTL25-OT-9-27.

Tableaux

Tableau 1. Comparaison des paramètres morphométriques entre la population-type *Peckichara atlasensis* de l'Oued Meguerchi et celle de l'échantillon OT-11 de l'Oued Tafarahit. L : longueur, l : largeur, ISI : indice d'isopolarité, Nsp : nombre de tours de spires, Hsp : hauteur de spires.

Comparison of morphometrical parameters between the type population of Peckichara atlasensis of the Oued Meguerchi and that of Oued Tafarahit. L, length, l, width, ISI, isopolarity index, Nsp, number of spiral turns.

Tableau 2. Comparaison des paramètres morphométriques entre la population-type de *Maedleriella cristellata* du bassin de Paris (France) et celle de l'Oued Tafarahit (Algérie). L, longueur, l, largeur, ISI, indice d'isopolarité, Nsp, nombre de tours de spires, Hsp, hauteur de spires.

Comparison of morphometrical parameters between the type-population Maedleriella cristellata of the Paris Basin and that of Oued Tafarahit. L: length, l: width, ISI: isopolarity index, Nsp: number of spiral turns.

Tableau 3. Comparaison des paramètres morphométriques entre la population-type *Nitelloopsis (T.) thaleri* des Corbières (France) et celle de l'Oued Tafarahit. L : longueur, l : largeur, ISI : indice d'isopolarité, Nsp : nombre de tours de spires, Hsp : hauteur de spires.

Comparison of morphometrical parameters between the type population of Nitelloopsis (T.) thaleri from the Corbières (France) and that of Oued Tafarahit. L, length, l, width, ISI, isopolarity index, Nsp, number of spiral turns.

Tableau 4. Intervalle de salinité suivant la classification des salinités de Venise (Calinano *et al.*, 1961), des trois genres d'ostracodes de la Formation de l'Oued Tafarahit (Sud-Est de l'Atlas Saharien occidental).

Salinity ranges, according to the Venice salinity classification (Calinano et al., 1961), of the three ostracods genus of the Oued Tafarahit Formation (Southeast of the western Saharan Atlas).

Tableau 5. Distribution chronostratigraphique des charophytes dans le gisement de l'Oued Tafarahit.

Chronostratigraphic ranges of charophytes from the Oued Tafarahit locality.

| Espèces et localités | <i>Peckichara atlasensis</i> Mebrouk et Feist, 1999 (Oued Meguerchi) | <i>Peckichara atlasensis</i> (Oued Tafarahit, cette étude) |
|----------------------------|--|---|
| Paramètres morphométriques | | |
| Forme générale | Éllipsoïde large à ovoïde | Ovoïde large-ellipsoïdale |
| L | 875-1300 µm | 850-900 µm |
| I | 850-1250 µm | 775-800 µm |
| ISI | 103-104 | 110-112 |
| Nsp | 7-9 | 9-11 |
| Hsp | 150-200 µm | 110-130 µm |
| Ornementation | Ornée de tubercules | Ornée de tubercules |

Tableau 1

| Espèces et localités | <i>Maedleriella cristellata</i> Grambast, 1977 (Grande Sablière de Berru Bassin de Paris) | <i>Maedleriella cristellata</i> (Oued Tafarahit, cette étude) |
|----------------------------|---|--|
| Paramètres morphométriques | | |
| Forme générale | Subglobuleuse | Aplatie à subglobuleuse |
| L | 450-500 µm | 385-400 µm |
| I | 500-575 µm | 415-435 µm |
| ISI | 87-90 | 91-93 |
| Nsp | 6-7 | 5-6 |
| Hsp | 75-100 µm | 50-115 µm |
| Ornementation | Crête médiane large, tubercules indépendants ou reliés entre eux | Crêtes intercellulaires fines ou larges |

Tableau 2

| Espèces et localités | <i>Nitellopsis (T.) thaleri</i> (Castel et Grambast, 1969) Grambast et Soulié-Marsche, 1972 (Massif des Corbières, Sud de France) | <i>Nitellopsis (T.) thaleri</i> (Oued Tafarahit, cette étude) |
|----------------------------|--|--|
| Paramètres morphométriques | | |
| Forme générale | Ellipsoïde large, parfois subglobuleuse | Ovoïde large à ovoïde |
| L | 1075-1550 µm | 750-900 µm |
| I | 1000-1550 µm | 700-850 µm |
| ISI | 85-120 | 106-107 |
| Nsp | (7) 8-9 | 8-9 |
| Hsp | 150-200 µm | 125-175 µm |
| Ornementation | Ornée de tubercules allongés sur le sens de la spire | Ornée de tubercules moins développés sur la zone apicale et basale |

Tableau 3

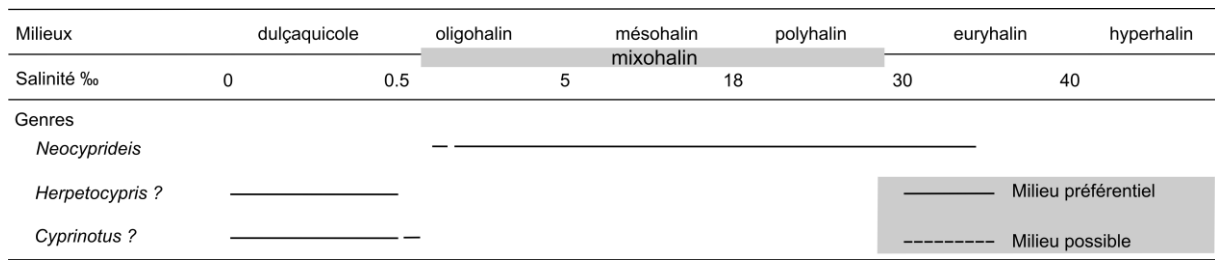


Tableau 4

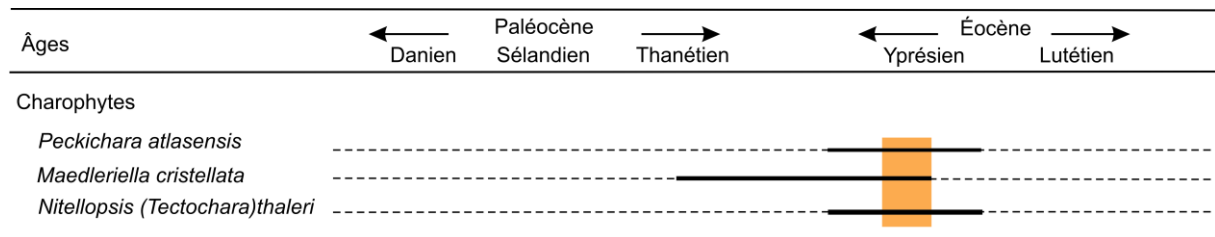


Tableau 5

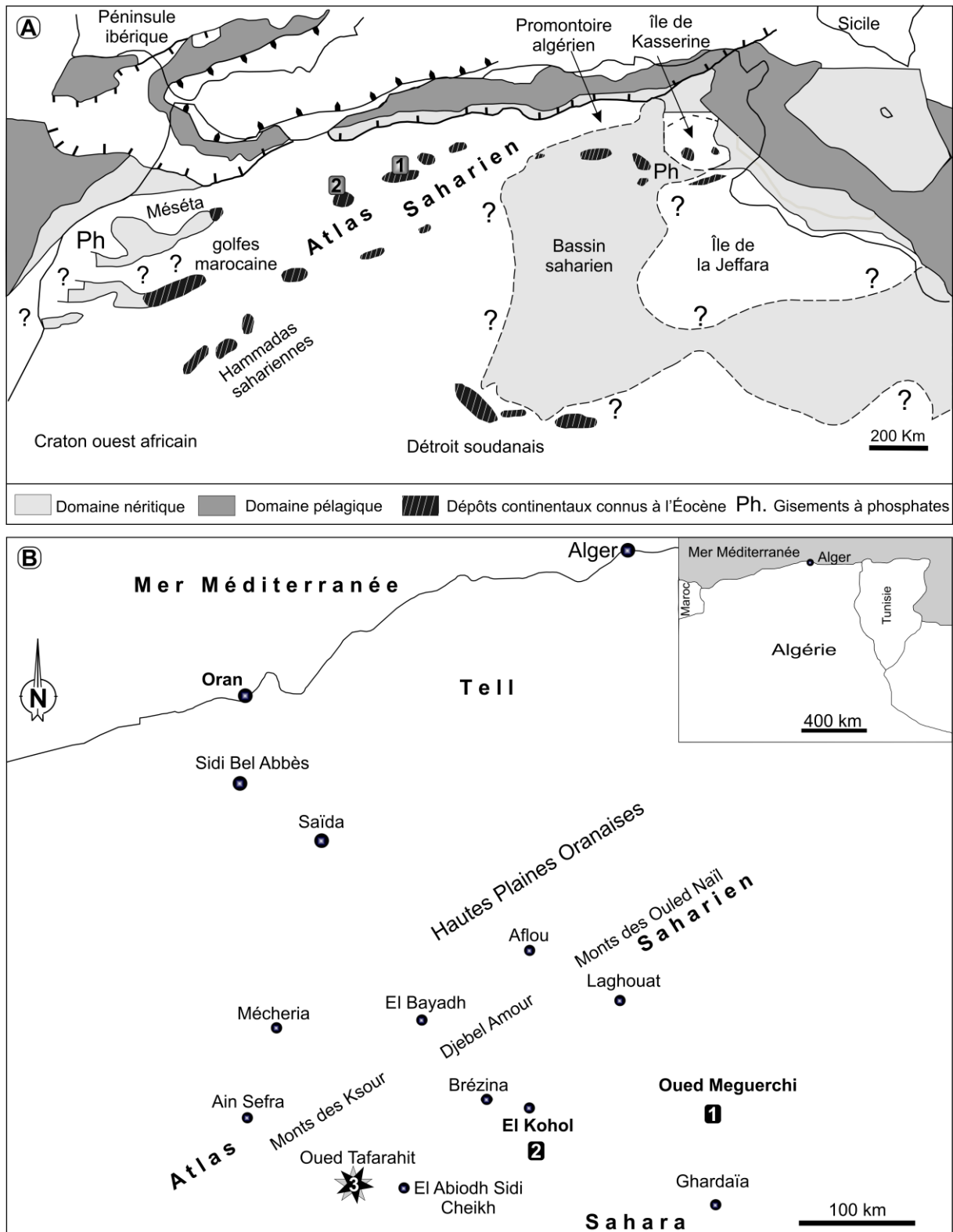


Figure 1

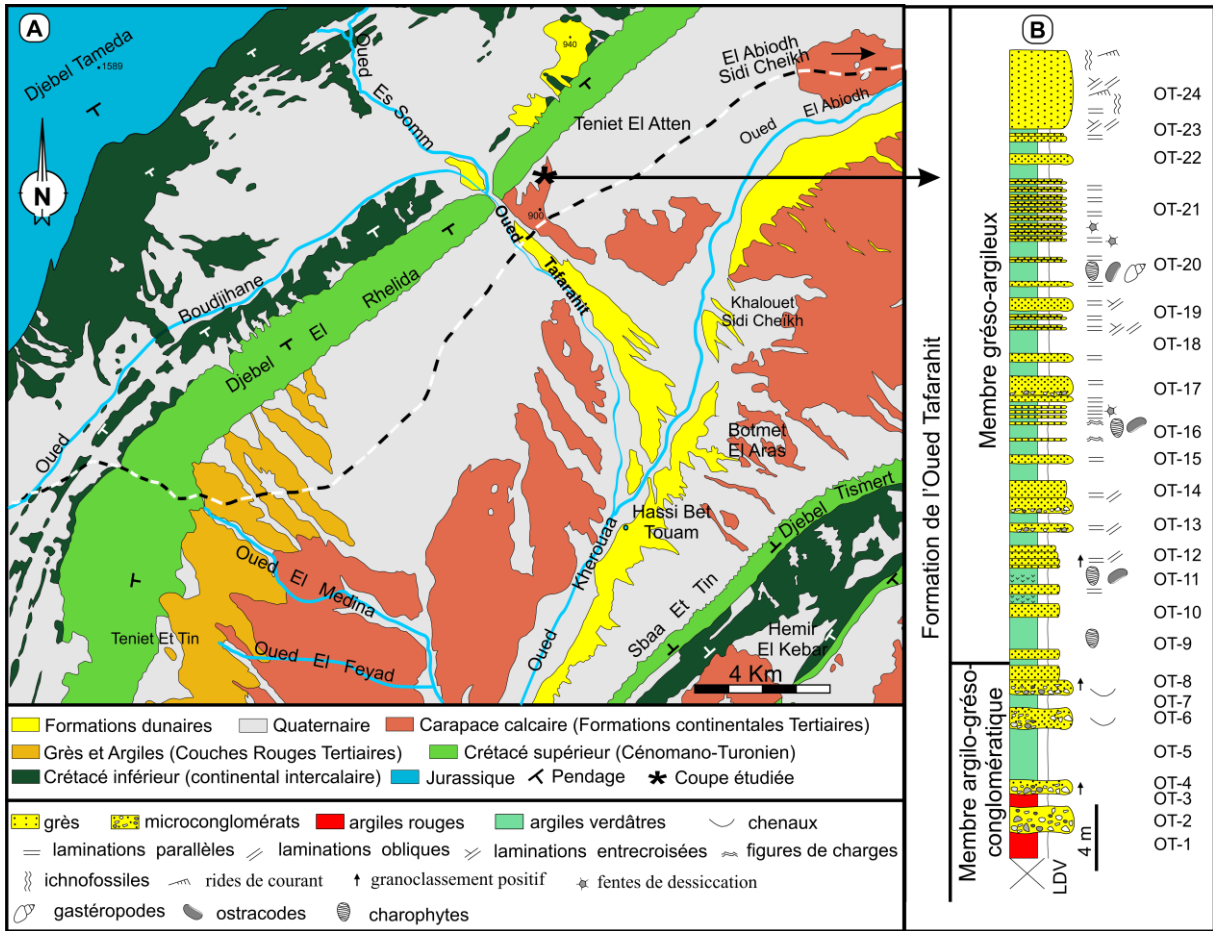


Figure 2

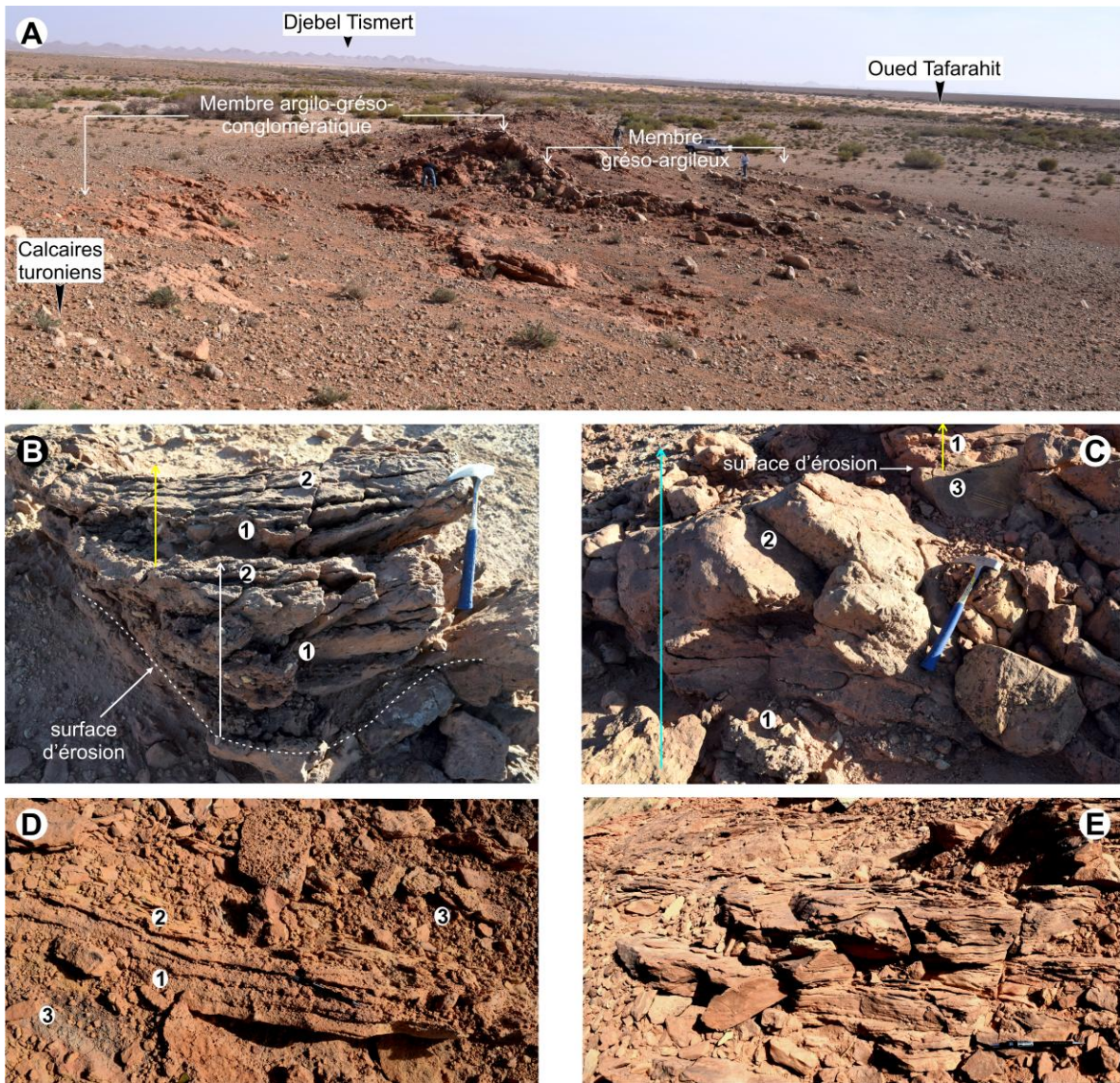


Figure 3

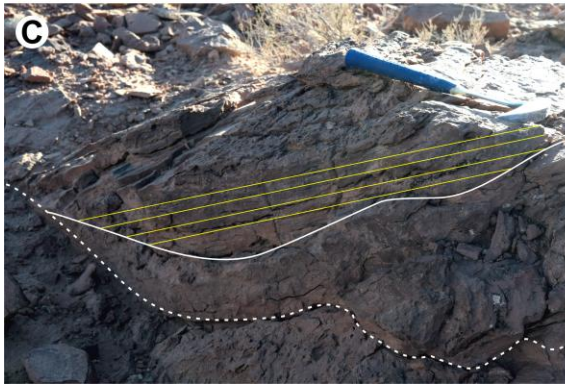


Figure 4

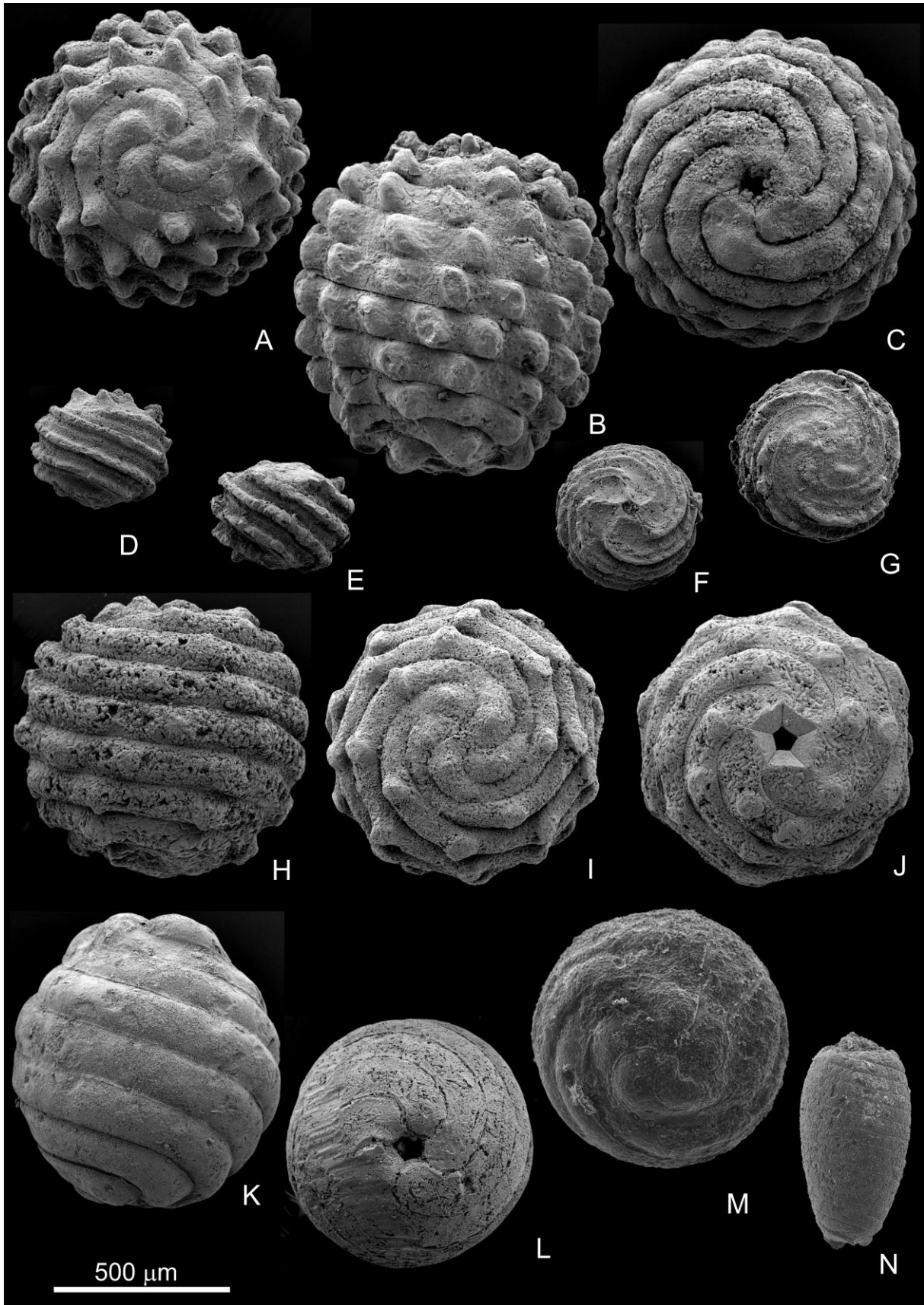


Figure 5

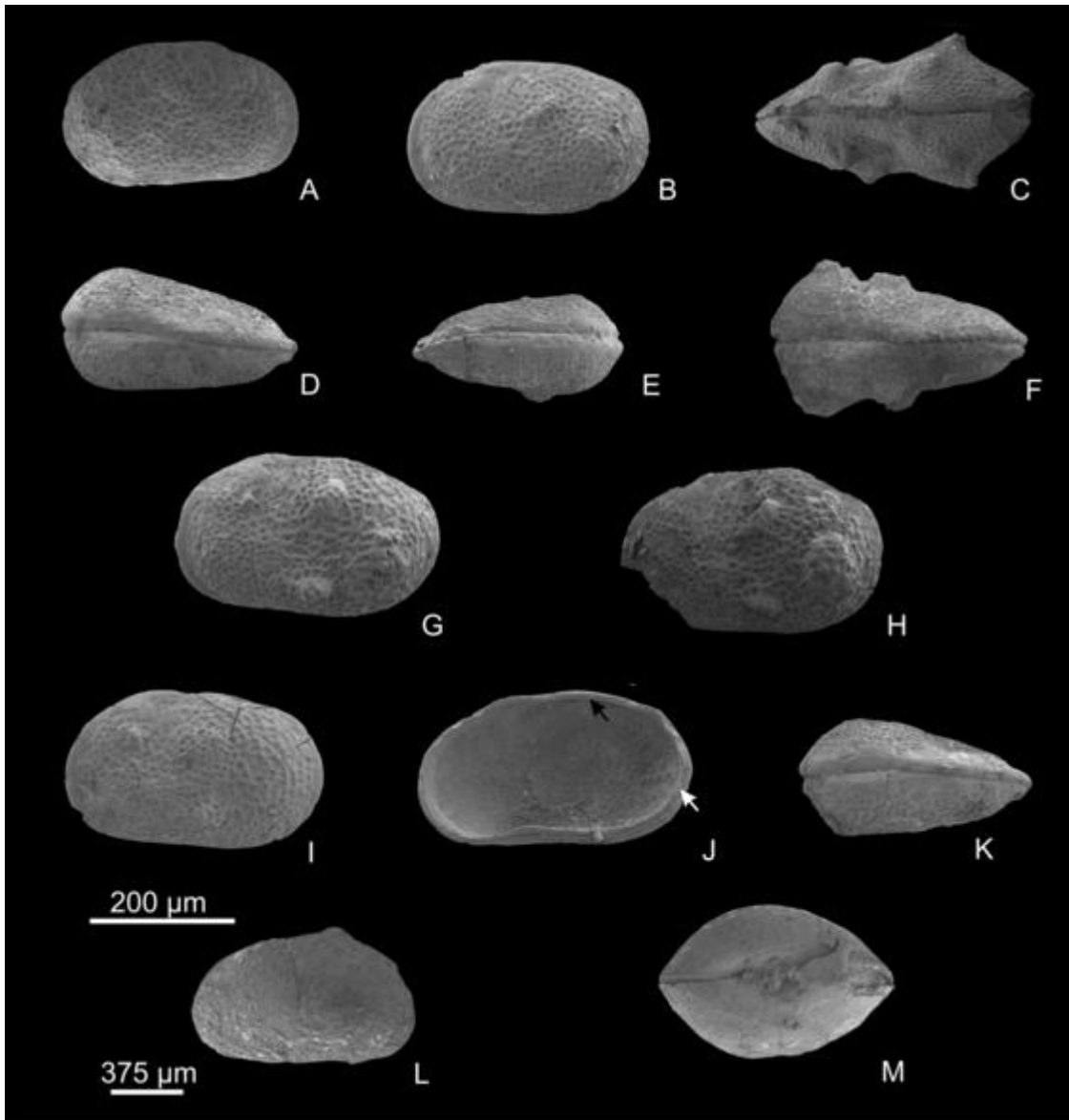


Figure 6