



Université  
de Lille



Evo-Eco-Paléo



**Université de Tlemcen**

Faculté des sciences de la nature et de  
la vie et sciences de la terre et de l'univers  
Département des Sciences de la Terre  
Laboratoire N° 25

**Université de Lille**  
Faculté des Sciences et  
Technologies  
UMR-8198- Evo-Eco-Paleo  
Ecole doctorale 104- Sciences de  
la Matière, du Rayonnement et de  
l'Environnement

## **THÈSE** en Cotutelle

Pour obtenir le grade de

**Docteur de l'Université de Tlemcen**

Sciences de la Terre

Et de

**Docteur de l'Université de Lille**

Géosciences, Ecologie, Paléontologie, Océanographie

Présentée par

**BENACHOUR Houcine Boumediene**

# **Etude des acritarches du Cambro-Ordovicien de l'Afrique nord-occidentale (Algérie-Maroc)**

Thèse dirigée par Thomas Servais et Mustapha Bensalah

Date de soutenance prévue le 17 décembre 2020

Membres du jury :

BENYOUCEF Madani, Université de Mascara, *Rapporteur*

GHIENNE Jean-François, CNRS - Université de Strasbourg, *Rapporteur*

MALTI Fatima Zohra, Université de Béchar, *Examineur*

CRONIER Catherine, Université de Lille, *Président*

BENSALAH Mustapha, Université de Tlemcen, *Directeur de thèse*

SERVAIS Thomas, CNRS - Université de Lille, *Directeur de thèse*

MEBARKI Kaddour, Université Ibn Khaldoun-Tiaret, *Invité*

LEFEBVRE Bertrand, CNRS - Université de Lyon, *Invité*

## Résumé

Les terrains cambro-ordoviciens de l'Afrique Nord occidentale (Algérie Nord-occidentale / Maroc Nord-oriental) demeurent jusqu'à présent mal connus. Ceci est dû essentiellement au manque d'affleurements, à la déformation des terrains qui rend toute étude difficile, et enfin à l'absence de macrofossiles.

Sur base d'études sur les acritarches, ce travail tente d'apporter des précisions, surtout en termes de biostratigraphie, qui aident à la compréhension des terrains cambro-ordoviciens dans la région.

Pour cela, différentes parties de terrain en Algérie et au Maroc sont analysées.

Tout d'abord, une analyse palynologique est effectuée dans les terrains du Paléozoïque inférieur des Monts de Traras et des Monts de Tlemcen (Ghar Roubane) dans l'Algérie Nord-occidentale. Seule la Formation de 'Psammites bioturbés' dans les Monts de Traras livre quelques spécimens d'acritarches. Malgré l'état de préservation médiocre, on peut reconnaître *Villosacapsula setosapellucula* et *Orthosphaeridium bispinosum*. La présence de ces deux espèces caractéristiques permet d'attribuer un âge Ordovicien Moyen-Supérieur à cette Formation, ce qui représente la première datation biostratigraphique des terrains anté-Siluriens dans le Nord-ouest algérien.

Dans la partie marocaine de la région d'étude, des échantillons provenant de deux localités sont analysés : la région de Tazekka au Maroc central et la région de Zekkara au Maroc oriental. Seule l'Unité de Bab Azhar dans la région de Tazekka livre des palynomorphes. Un total de 35 genres d'acritarches sont reconnus et permettent d'attribuer un âge Ordovicien Moyen (Darriwilien) aux niveaux étudiés. L'environnement de dépôt passe du marin profond à l'Ordovicien Inférieur à un environnement de type plate-forme distale à l'Ordovicien Moyen.

Ces études sont complétées par une révision taxonomique détaillée du genre d'acritarche *Saharidia* Combaz 1967. Cette révision consiste en l'étude de matériel palynologique provenant de l'Algérie (Hassi R'Mel, sondage NL2) et de l'Iran (Région de Ghelli), ainsi qu'en une révision détaillée de la littérature. Deux espèces sur huit sont retenues: *Saharidia fragilis* et *Saharidia munfarida*. La première espèce marque l'intervalle Cambrien supérieur-Trémadocien, tandis que la deuxième est limitée à l'Ordovicien Supérieur (Hirnantien). *Saharidia fragile*, semblable à l'espèce actuelle *Halodinium verucatum*, pourrait être un Cilié. En matière de paléoenvironnement *Saharidia* indique des environnements marins de faible salinité, proches des côtes.

## Abstract

The Cambro-Ordovician in north-western Africa (north-western Algeria - north-eastern Morocco) remains poorly known until now. This is mainly due to the lack of outcrops, the deformation of the rocks, that make their study difficult, and finally the absence of macrofossils.

On the basis of acritarch studies, we attempt in this work to provide details, especially in terms of biostratigraphy, to better understand the Cambro-Ordovician successions in the region.

In this aim, different parts of the area in Algeria and Morocco are analysed.

First, a palynological analysis is carried out in the Lower Paleozoic of the Traras Mountains and the Tlemcen Mountains (Ghar Roubane) in north-western Algeria. Only the 'Bioturbed Psammite' Formation in the Traras Mountains provides a few specimens of acritarchs. Despite poor preservation, *Villosacapsula setosapellicula* and *Orthosphaeridium bispinosum* can be recognized. The presence of these two characteristic species makes it possible to attribute a Middle to Upper Ordovician age to this formation, which represents the first biostratigraphic information of the pre-Silurian sediments in north-western Algeria.

In the Moroccan part of the studied area, samples from two localities are analyzed: the Tazekka region in central Morocco and the Zekkara region in eastern Morocco. Similarly, only the Bab Azhar Unit in the Tazekka region provides palynomorphs. A total of 35 acritarch genera are recognized and allow to attribute a Middle Ordovician age (Darriwilian) to the studied levels. The repository environment passes from the deep sea environments in the Lower Ordovician to a distal platform-type environment in the Middle Ordovician.

These studies are supplemented by a detailed taxonomic revision of the acritarch genus *Saharidia* Combaz 1967. This review is carried out using palynological material from Algeria (Hassi R'Mel, NL2 borehole) and Iran (Ghelli region), as well as a complete revision of the literature. Two out of eight species are maintained: *Saharidia fragile* and *Saharidia munfarida*. The first species indicates a late Cambrian-Tremadocian interval, while the second is limited to the Late Ordovician (Hirnantian). *Saharidia fragile*, morphologically similar to the Recent *Halodinium verrucatum*, could be a Ciliate. In terms of palaeoenvironment, *Saharidia* indicates nearshore marine environments of low salinity.

## ملخص

لا تزال أراضي كامبرو-أوردوفيشي في شمال غرب إفريقيا (شمال غرب الجزائر / شمال شرق المغرب) غير معروفة حتى الآن. ويرجع ذلك أساساً إلى نقص النتوءات ، وتشوه التضاريس مما يجعل أي دراسة صعبة ، وأخيراً إلى عدم وجود أحافير كبيرة.

استناداً إلى الدراسات التي أجريت على أكريراتش ، يحاول هذا العمل تقديم مزيد من التفاصيل ، لا سيما فيما يتعلق بالطباعة الحيوية ، والتي تساعد على فهم تضاريس كامبرو-أوردوفيشي في المنطقة

لهذا ، يتم تحليل أجزاء مختلفة من الأرض في الجزائر والمغرب

أولاً ، تم إجراء تحليل علم الحفريات في تضاريس الباليوزويك السفلى لجبال تراراس وجبال تلمسان (غار روبان) في شمال غرب الجزائر. فقط تكوين "بساميت" في جبال تراراس ينتج عدداً قليلاً من العينات من الأكوخ. على الرغم من حالة الحفظ السيئة ، يمكن التعرف على فيلوساكسولا سيتوسابيلوكيلا و أرتوسفيريديوم بيسيبينيزوم . إن وجود هذين النوعين المميزين يجعل من الممكن أن نعزو العصر الأوردوفيشي المتوسط الأعلى إلى هذا التكوين ، والذي يمثل أول تأريخ بيوستراتيغرافي لمواقع ما قبل العصر السيلوري في الشمال الغربي الجزائري

في الجزء المغربي من منطقة الدراسة ، تم تحليل عينات من منطقتين: منطقة تازكة في وسط المغرب ومنطقة زكاره في شرق المغرب. فقط وحدة باب الأزهر في منطقة تازكة هي التي تقدم الأشكال المتساقطة. تم التعرف على ما مجموعه 35 نوعاً من الأكوخ وتسمح لنا بتعيين عمر أوردوفيشي متوسط (داروبليان) للمستويات المدروسة. تتغير بيئة الترسيب من أعماق البحار في منطقة الأوردوفيشي السفلى إلى بيئة من نوع المنصة البعيدة إلى بيئة الأوردوفيشي الأوسط

تُستكمل هذه الدراسات بمراجعة تصنيفية مفصلة لجنس الأركيتارش سحاريديا كومباز 1967. وتتألف هذه المراجعة من وإيران (منطقة غلي) ، وكذلك في مراجعة مفصلة للمراجع. (NL2) دراسة المواد القديمة من الجزائر (حاسي الرمل ، بير تم اختيار نوعين من ثمانية أنواع: سحاريديا فراجيل وسحاريديا منفردة . النوع الأول يمثل الفترة الفاصلة بين الكمبري العليا والتريمدوسيان ، بينما يقتصر النوع الثاني على العصر الأوردوفيشي العلوي (هيرنانسيان). يمكن أن تكون سحاريديا فراجيل ، على غرار الأنواع الحالية هالدينيوم فيريكاتوم ، هي من السيلات . من حيث البيئة القديمة ، تشير سحاريديا إلى البيئات البحرية ذات الملوحة المنخفضة ، بالقرب من السواحل

## **Remerciements**

*La réalisation de cette thèse a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.*

*Tout d'abord, j'exprime toute ma reconnaissance à Thomas Servais qui m'a proposé le sujet, dirigé, orienté, aidé et conseillé durant toutes ces dernières années.*

*Je remercie en parallèle, le professeur Mustapha Bensalah qui a accepté de diriger ma thèse, facilité mon travail et rendu la réalisation de cette thèse possible malgré toutes les difficultés.*

*Mes remerciements vont aussi aux membres du comité qui ont accepté d'évaluer mon travail. Tout d'abord un grand merci aux deux rapporteurs, Madani Benyoucef et Jean-François Ghienne. Je remercie aussi les membres du comité, Fatima Zohra Malti et Catherine Crônier, ainsi que les deux invités, Kaddour Mebarki et Bertrand Lefebvre.*

*Merci à Catherine de m'avoir accueilli durant ma première visite à Lille, ainsi que pour ces conseils et orientations. Merci aussi à Taniel Danelian, responsable de l'équipe au moment de mes séjours à Lille, de m'avoir accueilli dans le laboratoire, et à Xavier Vekemans, directeur de l'unité, pour son aide et ses encouragements.*

*Je remercie tous les membres de l'équipe du bâtiment SN5, spécialement Jessie Cuvelier, pour son aide précieuse pour la recherche de littérature scientifique, Sylvie Régnier, pour l'aide concernant les travaux analytiques et la confection de lames palynologiques, et David Kroeck, qui faisait sa thèse au même moment ce qui nous a permis de collaborer efficacement.*

*Mon séjour à Lille m'a permis de rencontrer de jeunes collègues qui sont devenus de vrais amis, avec lesquels j'ai partagé mes plus beaux moments : Un grand merci à Valentin Baud, mon ami et collègue de bureau, mais aussi à David, SHEN Zhen, Navid Navidi et ZHENG Shucan.*

*Un grand merci aux collègues marocains, qui ont échantillonné les coupes dans les boutonnières au Maroc. Je remercie tout particulièrement Mustapha Akodad pour les missions réalisées à Zekkara et à Taza, et Imad El Kati et Hicham El Messbahi pour leur aide dans le Massif de Tazekka.*

*Je remercie aussi mon cher ami Kaddour, avec qui j'ai partagé mes meilleurs moments à l'université et au terrain.*

*Mes remerciements vont aussi à mes frères et sœurs pour leur soutien, leur encouragement et surtout d'être toujours à mes côtés.*

*Au terme de ce parcours, je remercie enfin celles et ceux qui me sont chers et que j'ai quelque peu délaissés ces derniers mois pour achever cette thèse. Leurs attentions et encouragements m'ont accompagné tout au long de ces années. Je suis redevable à ma mère, et à ma femme pour leur soutien moral et leur patience.*

## Table des matières

<b>CHAPITRE I : INTRODUCTION ET BUT DU TRAVAIL</b>	8
<b>1. Contexte paléontologique de l'étude</b>	9
<i>1.1. Palynologie</i>	9
<i>1.2. Que ce qu'un acritarche?</i>	9
<i>1.3. Affinités biologiques des acritarches.</i>	10
<i>1.4. Classification des acritarches</i>	12
<i>1.5. Techniques d'études</i>	14
<b>2. Contexte géologique de l'étude</b>	17
<b>3. Buts de l'étude</b>	19
<b>Références bibliographiques</b>	22
<b>CHAPITRE II : DATATION PALYNOLOGIQUE DE L'ORDOVICIEN DANS LES MONTS DES TRARAS (NORD-OUEST ALGERIEN)</b>	27
<b>Résumé</b>	28
<b>1. Introduction</b>	28
<b>2. Bref Historique</b>	30
<b>3. Matériels et méthodes</b>	31
<i>3.1. Méthodes palynologiques</i>	31
<i>3.2. Contexte géologique</i>	31
<b>4. Résultats et discussion</b>	35
<i>4.1. Description des acritarches identifiés</i>	35
<i>4.2. Age de la Formation</i>	38
<b>5. Conclusion</b>	39
<b>Références bibliographiques</b>	39
<b>CHAPITRE III: DESCRIPTION DES ASSEMBLAGES D'ACRITARCHES DE L'ORDOVICIEN MOYEN DE LA REGION DE TAZEKKA (MAROC)</b>	44
<b>Résumé</b>	45
<b>1. Introduction</b>	45
<b>2. Contexte géologique</b>	48
<b>3. Matériel et méthodes</b>	53

<b>4. Paléontologie systématique – Taxonomie</b>	54
<b>5. Implication stratigraphique de quelques acritarches sélectionnés</b>	65
<b>6. Implication paléo-environnementale</b>	71
<b>7. Implications paléogéographiques</b>	75
<b>8. Conclusion</b>	76
<b>Références bibliographiques</b>	78
<b>Planches photographiques</b>	96
<b>CHAPITRE IV: LE GENRE D'ACRITARCHE SAHARIDIA COMBAZ 1967 :</b>	116
<b>UN CILIE (CILIPHORA) DU CAMBRO-ORDOVICIEN</b>	
<b>Résumé</b>	117
<b>1. Introduction</b>	117
<b>2. Matériel et méthodes</b>	119
2.1. <i>Contexte géologique du sondage en Algérie</i>	119
2.2. <i>Contexte géologique des échantillons de l'Iran</i>	120
<b>3. Le genre <i>Saharidia</i> Combaz 1967</b>	121
3.1. <i>Historique</i>	121
3.2. <i>Systématique</i>	122
<b>4. Affinité biologique de <i>Saharidia</i></b>	129
<b>5. Biostratigraphie, paléogéographie et paléoécologie de <i>Saharidia</i></b>	131
5.1. <i>Biostratigraphie</i>	131
5.2. <i>Paléogéographie</i>	134
5.2.1. <i>Gondwana</i>	134
5.2.2. <i>Baltica</i>	134
5.2.3. <i>Paléoécologie de <i>Saharidia</i></i>	135
<b>6. Conclusion</b>	136
<b>Références bibliographiques</b>	137
<b>Planche photographique</b>	147
<b>ANNEXES: PUBLICATIONS ET PARTICIPATIONS AU CONGRES</b>	149

**CHAPITRE I :**  
**INTRODUCTION ET BUT DU TRAVAIL**

# CHAPITRE I : INTRODUCTION ET BUT DU TRAVAIL

## 1. Contexte paléontologique de l'étude

### 1.1. Palynologie

En micropaléontologie, divers groupes fossiles sont étudiés. Ces groupes, trouvés dans divers types de roches, sont de natures différentes : calcaire (ex. coccolithes et foraminifères), siliceuse (ex. radiolaires, diatomées), phosphatée (ex. conodontes) ou organique. Ce dernier groupe de microfossiles est l'objet d'étude de la palynologie.

La palynologie, terme proposé en 1944 par Hyde et Williams, à partir de deux mots grecs « patunein » signifiant répandre, saupoudrer, et « polê » désignant la farine, la poussière pollinique, étudie en plus des pollens et spores actuelles, les micro-organismes fossiles organiques appelés « palynomorphes ».

Dans la majorité des études palynologiques, l'affiliation de certains palynomorphes est bien connue par les spécialistes, comme par exemple : les spores, les pollens et les dinoflagellés. Par contre, quand on ne connaît pas l'affinité d'un palynomorphe, on le met à coté, ou au meilleur des cas on le met parmi les *incertae sedis*. Tous les palynomorphes d'affinités biologiques inconnues ou incertaines ont été regroupés sous le nom « d'acritarches » par Evitt (1963).

### 1.2. Que ce qu'un acritarche?

Evitt (1963) regroupe tous les palynomorphes d'affinités inconnues sous le nom d'« Acritarches », en indiquant que le terme vient du grec *akritos*, incertain, et *arche*, origine. La définition proposée par Evitt (1963) est claire : « des petits microfossiles d'affinités biologiques incertaines et probablement variées, qui consistent en une cavité centrale enfermée par une paroi de composition organique formée d'une simple ou de plusieurs couches... ». Le groupe d'acritarche englobe ainsi des palynomorphes de formes très variées qui n'ont pas d'affiliation phylogénique claire. La grande variété morphologique des formes chez les acritarches suggère d'ailleurs des origines variées.

### 1.3. Affinités biologiques des acritarches.

Evitt (1963) a bien précisé dans sa définition que les acritarches ont une affinité biologique inconnue ou incertaine et probablement variée. C'est ce critère qui maintient les différents taxons dans le groupe des acritarches. Ainsi, si on arrive à reconnaître l'affinité d'un taxon, il ne sera plus 'un acritarche', mais on va le ranger dans son propre groupe biologique.

Ceci n'empêche pas de proposer des hypothèses sur la base des données recueillis par les différents chercheurs. En fait, le groupe le plus proche de beaucoup d'acritarches est le groupe des dinoflagellés : Evitt (1963) a déjà mentionné que la majorité des acritarches représentent probablement des kystes de dinoflagellés, mais avec l'absence des caractères morphologiques caractéristiques (Fig. 1), en l'occurrence une paratabulation (présence de plaques), un cingulum, un sulcus, etc.

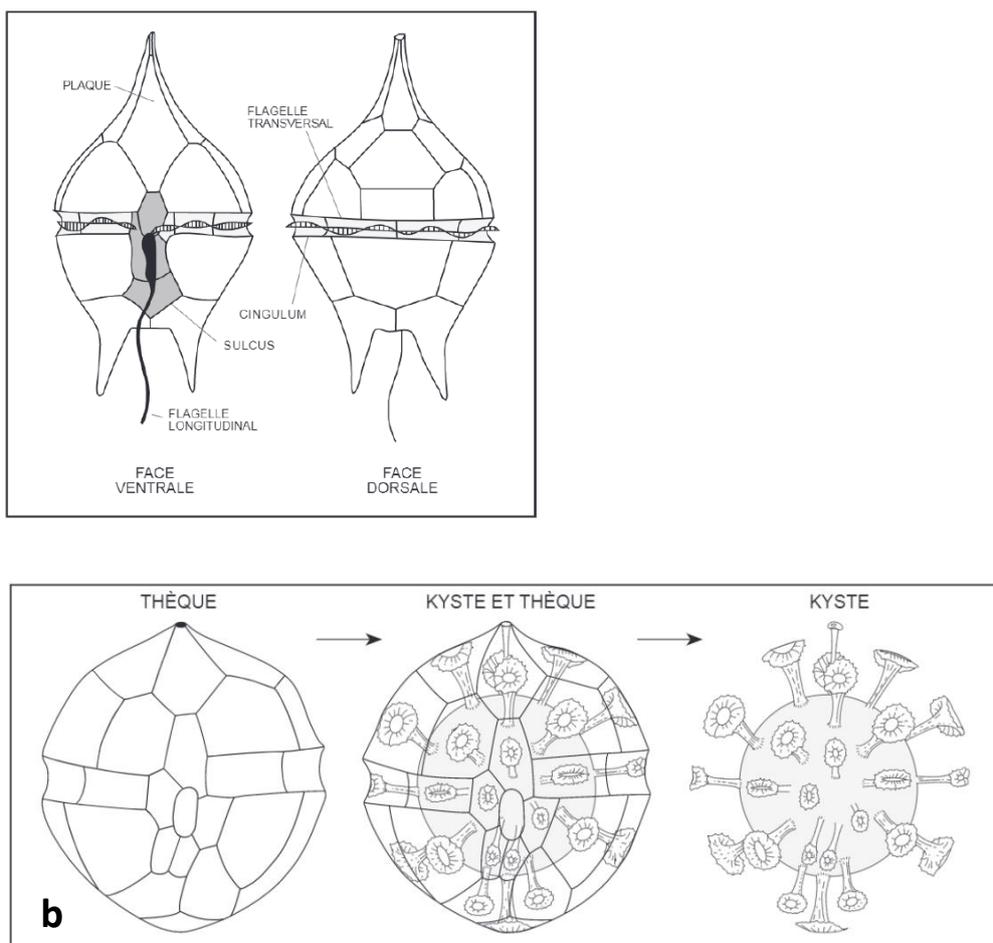


Fig. 1. a. principaux caractères morphologiques du stade mobile d'un dinoflagellé moderne typique. b. relation entre thèque et kyste d'un même dinoflagellé (Fensome et al. 1998)

Ce rapprochement est appuyé aussi par des recherches postérieures, basées sur des analyses biogéochimiques (ex. Moldowan et al. 1996, Moldowan et Talyzina 1998). Les résultats publiés dans ces recherches montrent que des dérivés d'une substance chimique commune aux dinoflagellés (les dinostéroïdes) étaient déjà présents dans la paroi de certains acritarches au Cambrien, ainsi que dans des sédiments paléozoïques.

Ces résultats impliquent que des formes proches des dinoflagellés existent déjà avant le Mésozoïque. Cela voudrait dire que certains acritarches du Paléozoïque pourraient être attribués à des 'pré-dinoflagellés'.

Cette interprétation peut être confirmée par des analyses biogéochimiques, moléculaires ou par d'autres techniques plus récentes, comme la spectrométrie Raman (micro FTIR ; ex. Gurdebeke et al. 2018). De telles études sont possibles, mais elles nécessitent un matériel de très bonne préservation ; ce qui est difficile à obtenir pour la plupart des terrains paléozoïques qui représentent une longue et complexe histoire géologique, avec modification du signal biogéochimique.

En l'absence d'analyses précises qui confirment la relation entre les acritarches et d'autres groupes connus, le critère morphologique peut, au moins, permettre d'approcher certains taxons d'acritarches à un groupe biologique de forme très proche. C'est le cas, par exemple, de certains *Leiosphaeridia* qui ont été attribués aux algues prasinophycées (Colbath et Grenfell 1995). Sur la base du même critère le genre *Saharidia* Combaz 1967 a été rapproché au groupe des Ciliés dans le présent travail (Chapitre IV).

La plupart des acritarches sont considérés comme appartenant au micro-phytoplancton (Martin 1993, Colbath et Grenfell 1995), le plus souvent associés à une sédimentation marine. Cela n'a pas empêché de trouver des acritarches dans d'autres types de sédiments continentaux et lacustres. Ce qui implique que certains groupes d'acritarches peuvent être classés hors du phytoplancton ; comme par exemple des formes avec des affinités de spores terrestres (ex. *Virgatasporites* et *Attritasporites* : Combaz 1967), d'algues benthiques (Dorning 1981), ou encore de spores de champignons (Pirozynski 1976).

En conclusion, les acritarches présentent des formes très variées qui peuvent être rapprochées de plusieurs groupes connus. Ce qui est évident, c'est que le groupe des acritarches est polyphylétique. Si, suite à des analyses précises, l'affinité biologique d'un

taxon d'acritarche peut être établie, la forme concernée ne doit plus être considérée comme un acritarche, mais il doit rejoindre son propre groupe biologique.

#### 1.4. Classification des acritarches

La classification des acritarches est basée sur des critères purement morphologiques. Le problème d'affinité biologique des acritarches intervient aussi dans leur classification. Le fait que les acritarches sont d'affinité inconnue et probablement variée empêche ce groupe à trouver sa place dans la classification naturelle des êtres vivants. Plusieurs auteurs (Mädler 1963, Deflandre et Deflandre-Rigaud 1962, 1964, Eisenack 1969) ont tenté de proposer des classifications 'naturelles' pour les acritarches. Ces tentatives de classification supragénériques ne fonctionnent pas et ont été remplacées par une classification 'artificielle', proposée par Downie et al. (1963). Cet échec est logique, puisqu'une classification naturelle implique une relation phylogénique entre les différents niveaux hiérarchiques, ce qui n'est pas le cas pour un groupe d'affinités incertaines et variées comme les acritarches.

Downie et al. (1963) ont groupé les acritarches dans des sous-groupes artificiels selon la morphologie générale (Fig. 2). Ces groupes morphologiques n'ont aucune signification dans la hiérarchie naturelle de classification (Servais 1996), mais permettent de faire une première subdivision dans le groupe, et de faciliter la recherche pour aller au niveau suivant de la classification.

Dans la plupart des publications après Downie et al. (1963), les acritarches sont classées par ordre alphabétique. Aujourd'hui la majorité des spécialistes d'acritarches adopte ce système de classement (Servais 1996).

Les acritarches sont classés directement à deux niveaux taxonomiques, en genre et en espèce. Toutefois, pour un niveau plus haut, les spécialistes utilisent les sous-groupes informels (Servais 1996). Dans certains cas, les auteurs ont aussi utilisé les niveaux de sous-espèce ou variété.

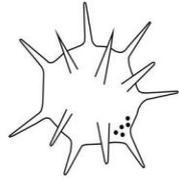
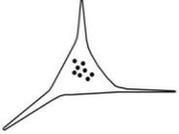
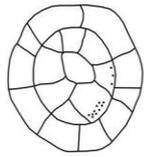
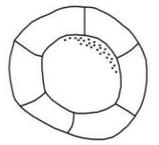
Sous-groupes	Etymologie	Description succinete	Schéma
Acanthomorphitae	akantha = épine	- coque sphérique - processus plus ou moins nombreux, isolés, radiaires	
Polygonomorphitae	polys-gonia = polygonal	- coque polygonale - appendices peu nombreux	
Sphaeromorphitae	sphaira = sphère	- coque sphérique sans ornementation	
Netromorphitae	netron = fuseau	- coque fusiforme - un ou plusieurs appendices à l'un ou aux deux pôles	
Diacromorphitae	di-akron = deux sommets	- coque avec deux aires polaires ornementées	
Herkomorphitae	herkos = mur	- coque sphérique subdivisée en champs polygonaux limités ou non par des cloisons membraneuses	
Pteromorphitae	pteron = aile	- coque sphérique avec une membrane équatoriale soutenue ou non par des piliers	

Fig. 2. Groupes morphologiques de Downie et al. (1963) permettant une première subdivision du groupe informel des acritarches (In Chakir 1983).

## 1.5. Techniques d'études

### *L'échantillonnage*

Dans tout travail de palynologie, la condition la plus importante est d'avoir du matériel palynologique (palynomorphes) déterminable. Quand on fait l'étude des macro-fossiles, on peut plus ou moins minimiser le risque de ne pas avoir du matériel par une visite rapide sur le terrain. Par cette visite on peut avoir une idée sur l'existence des fossiles recherchés. Les travaux des chercheurs antérieurs sur la région peuvent aussi aider dans le choix de la région étudiée, puisqu'ils vont, au moins, signaler l'existence de fossiles.

En palynologie le travail est plus délicat, et présente le risque de ne pas trouver du matériel après une longue période d'attente, qui peut aller jusqu'à plus d'un mois, correspondant au travail au laboratoire palynologique. L'autre risque est d'avoir un matériel de mauvaise qualité, donc généralement indéterminable et inutile.

Un des points forts de la palynologie est le fait de donner des chances pour reconnaître et surtout dater des terrains qualifiés depuis longtemps d'azoïques (ex. Vanguetaine 1974, Montenari et Servais 2000). C'était aussi l'idée avec laquelle on s'est lancé pour étudier les terrains algériens anté-Silurien (Monts des Traras et Monts de Ghar Roubane). D'autre part, ce même point reste surtout un facteur 'chance', où malgré de longues missions de terrain et des travaux d'analyse le résultat est incertain et infructueux (Monts de Ghar Roubane, Boutonnière de Zekkara).

Pour augmenter les chances de trouver des acritarches, deux possibilités sont ouvertes :

-Un échantillonnage systématique massif ; citons l'exemple du travail de Montenari et Servais (2000) dans la Forêt Noire (Sud-Ouest de l'Allemagne) : sur 133 échantillons analysés, seulement trois ont donné des acritarches, et en plus très mal préservés. Mais les auteurs ont pu reconnaître quelques genres d'acritarches qui ont permis de donner un âge Cambrien supérieur-Ordovicien Inférieur aux phyllites métamorphisés de la région de Baden-Baden-Gaggenau. Ceci représentait la première datation de ces niveaux, qui étaient considérés jusqu'à cette découverte comme azoïques.

-le bon choix des échantillons analysés ; Eisenack (1931) avait déjà remarqué que les palynomorphes (y compris les acritarches) peuvent être trouvés dans divers types de roches :

grès, pélites, schistes, calcaires, marnes... Cette remarque a été confirmée par la suite par les travaux d'autres chercheurs (ex. Laufeld 1967, Cramer 1968, 1970).

D'autre part, le nombre de palynomorphes trouvés varie considérablement d'un faciès à l'autre. Par exemple, dans les formations détritiques, la productivité des niveaux à faciès fins est beaucoup plus importante que celle des faciès grossiers. Sur la base de cette information, il faut viser les niveaux les plus fins dans une série sédimentaire pour augmenter la chance d'avoir des acritarches. Ce fait peut être expliqué par l'énergie du milieu de sédimentation : un milieu agité disperse les particules organiques, tandis qu'un milieu calme permet le dépôt et la concentration des particules organiques.

-Éviter les faciès oxydés ; La matière organique s'oxyde facilement. Quand elle existe dans une roche, elle marque un caractère réducteur du milieu de dépôt. Pour cela, les palynologues déconseillent d'échantillonner les niveaux rouges colorés par les oxydes de fer (Rauscher 1973).

#### *Traitement des échantillons*

Le traitement palynologique des échantillons se fait sur plusieurs étapes (Fig. 3). Tout d'abord, l'échantillon de roche (environ 50g) est lavé à l'eau, puis concassé.

La roche concassée sera mise dans l'acide fluorhydrique (HF) afin d'éliminer la partie siliceuse, puis dans l'acide chlorique pour l'élimination de la partie carbonatée. Le résidu organique sera lavé et filtré pour recueillir la matière organique. Le filtrage se fait par des filtres de mailles de tailles différentes, selon le groupe à analyser: chitinozoaires, acritarches...

Le résidu filtré est placé ensuite sur une lame puis on le couvre par une lamelle en verre.

Pour plus de détails sur les techniques utilisées pour les préparations palynologiques le lecteur pourra consulter les travaux de Gray (1965), Barss et Williams (1973), Doher (1980), Colbath (1985) ou Wood et al. (1996).

## Observation

L'observation des lames réalisées se fait sous microscope optique en lumière transmise ou réfléchi. Dans le présent travail, toutes les observations sont faites sous lumière transmise. Pour avoir plus de détails morphologiques visibles, le microscope électronique à balayage (MEB) peut être utilisé.

Enfin, d'autres techniques d'observation peuvent être utilisées, comme par exemple l'utilisation de sections polies, notamment dans les faciès carbonatés. Dans ce cas, on procède à une attaque à l'acide chlorhydrique pour une courte durée, ce qui va faire dissoudre une fine couche de carbonate et met en relief les fossiles organiques.

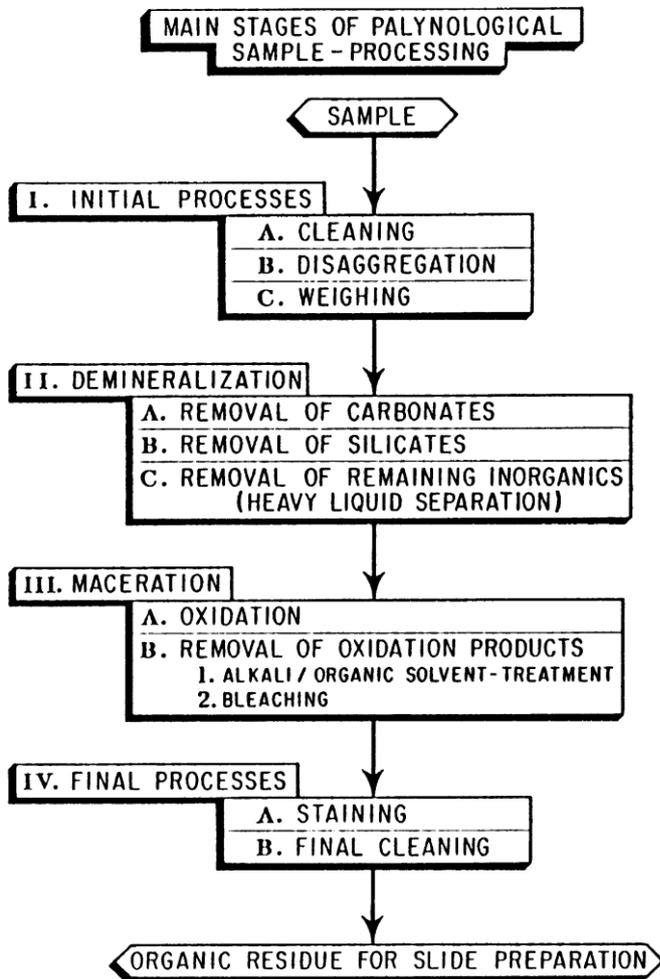


Fig. 3. Etapes de traitement palynologique d'une roche sédimentaire Ediger (1986)

## 2. Contexte géologique de l'étude

### *Cadre de l'étude*

Notre investigation a été faite à partir de coupes réalisées dans les terrains du Paléozoïque inférieur en Algérie et au Maroc. Initialement, il était prévu de mieux comprendre la stratigraphie des Monts de Traras, au Nord-Ouest de l'Algérie, où les roches les plus anciennes n'étaient pas datées. Par la suite, les affleurements des Monts de Ghar Roubane ont également été ajoutés à l'étude. Ainsi, les localités algériennes sont représentées par les Monts de Traras (région de Honaine) et les Monts de Ghar Roubane (région de Tlemcen) dans l'Algérie Nord-occidentale (Fig. 4).

Les contacts établis entre l'Université de Lille et la Faculté Pluridisciplinaire de Nador ont permis d'envisager également l'étude des niveaux équivalents au Maroc. Les travaux du Maroc ont été réalisés dans la région de Zekkara au Maroc oriental puis dans celle de Tazekka au Maroc central.

Le Paléozoïque affleure dans cette large région des deux côtés de la frontière dans des boutonnières plus ou moins isolées. Ces boutonnières font partie d'une structure géologique appelée par les géologues marocains 'meseta'. Ce terme peut poser certaines confusions pour le lecteur. En fait, le terme 'meseta' qui est à l'origine espagnol utilisé en géographie désigne 'une région constituée de hauts plateaux'. Dans la région algéro-marocaine, ce terme est utilisé aussi au sens géographique pour désigner des zones hautes qui s'étendent de part et d'autre du Moyen Atlas marocain, en l'occurrence la Meseta Occidentale à l'Ouest et la Meseta Orientale (appelée aussi Meseta Oranaise ou Haut Plateaux par certains auteurs). En Algérie, la terminologie de meseta n'est normalement pas d'usage.

Dans ce travail, nous nous intéressons essentiellement aux terrains cambro-ordoviciens de la région.

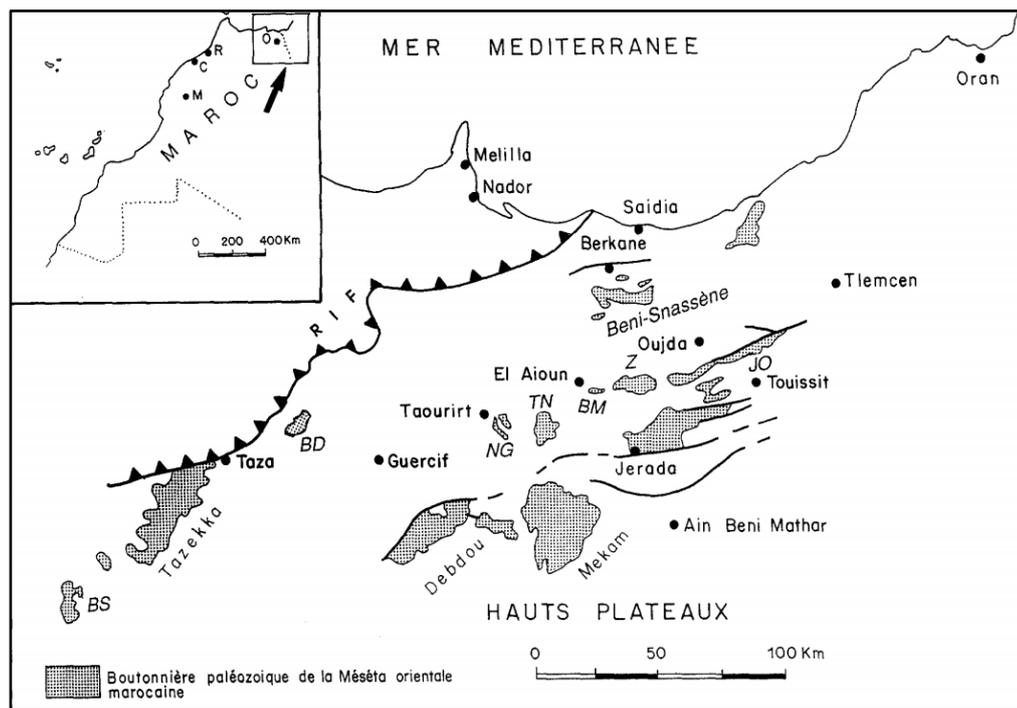


Fig. 4. Les affleurements paléozoïques de la région d'étude (Berkhli et al. 1993)

JO: Jorf Ouazzène, Z: Zekkara, TN: Tannecherfi, BM: Bourdime,  
 NG: Narguechoum, BD: Boudoufoud, BS: Bsabis.

Les terrains d'âge Silurien ont été datés depuis les années 1930, notamment grâce aux macrofossiles, en particulier les graptolites. Van Leckwijck et Termier (1938) en trouvent dans le Massif de Tazekka (Maroc central) et Owodenko et al. (1938) dans la boutonnière de Zekkara (Maroc du Nord-Est), tandis que Lucas (1938, 1942) en déterminent à Ghar Roubane et un peu plus tard Guardia (1975) dans les Traras, du côté algérien. Les terrains antérieures (Cambro-Ordovicien) ne sont datés paléontologiquement que des années plus tard, et notamment par des microfossiles (Zekkara: Fournier-Vinas 1985, Tazekka: Rauscher et al. 1982, Marhoumi et al. 1982).

Jusqu'à nos jours, il existe des terrains considérés comme anté-Silurien (ou Silurien probable) qui ne sont pas encore datés, notamment dans le Ghar Roubane et Tifrit à Saida (Lucas 1952) et même dans les Traras où la datation de l'Ordovicien n'était attribuée que par comparaison aux régions voisines, sans argument paléontologique.

Ce problème de datation est dû essentiellement à l'absence de macrofossiles. L'utilisation de la palynologie pourrait être décisive, vu que plusieurs des terrains cités ci-dessus ont été datés par la palynologie (acritarches et chitinozoaires) antérieurement.

## *Historique des études*

L'étude des acritarches en Algérie a débuté il y a plus d'un demi-siècle. C'est notamment dans la plateforme saharienne que ces études ont fait un grand progrès grâce aux travaux de recherches pétrolières (ex. Combaz 1967, Jardiné et al. 1974, Vecoli 1996, 1999).

De l'autre côté, dans tout le Nord algérien, on trouve un seul travail (Baudelot 1981) qui a été réalisé dans la région de Kabylie (au centre de l'Algérie) sur les acritarches du Cambro-Ordovicien.

Du côté marocain, les travaux des premiers pionniers (Deunff 1977) dans l'Anti-Atlas, de Cramer et al. (1974) et de Cramer et Diez (1977, 1979) dans la région de Tadla, ont été complétés par les recherches de Rauscher et al. (1982), Marhoumi et al. (1982) et Chakir (1983) dans le Massif de Tazekka, ainsi que les études de Fournier-Vinas (1985) dans la boutonnière de Zekkara, et de Baudelot et al. (1990) dans les boutonnières de Beni Mellalla, Bsabis et El Menzel.

### **3. Buts de l'étude**

#### *Cadre général*

Comme indiqué plus haut, ce travail a comme but principal une application biostratigraphique des acritarches du Cambro-Ordovicien dans le Nord-Ouest africain (Algérie et Maroc).

Les travaux ont été initiés dans les Monts de Traras, autour de Honaine, et ont par la suite été élargis aux Monts de Ghar Roubane, près de Tlemcen. Du côté algérien, nous avons également essayé de retrouver les échantillons analysés en Kabylie par Baudelot (1981), mais les lames palynologiques, les échantillons de roches, ou d'autres éléments relatifs à ces travaux sont introuvables dans les collections de l'Université de Toulouse, où ces études ont été effectuées dans les années 1980.

Les contacts avec les collègues marocains ont permis d'envisager également l'étude des boutonnières marocaines. Une mission de terrain franco-marocaine (Faculté Pluridisciplinaire de Nador, Université d'Oujda, Université de Lille) a permis de collectionner à nouveau les séries du Paléozoïque inférieur de la Boutonnière de Zekkara, étudiés également dans les années 1980 à l'Université de Toulouse (Fournier-Vinas 1985). De plus, une autre mission (Faculté Pluridisciplinaire de Nador, Université d'Oujda, Faculté

Multidisciplinaire de Taza, Université de Fès, Université de Lille) a permis de reprendre les travaux dans le Massif de Tazekka, à l'Ouest de la ville de Taza.

Le Paléozoïque inférieur de toutes ces régions est souvent fortement altéré, dû au tectonisme et aux différents degrés plus ou moins importants du métamorphisme. Si du côté marocain, la préservation des palynomorphes reste encore acceptable, du côté algérien, la qualité du matériel est le plus souvent insuffisant pour permettre une étude paléontologique.

Ainsi, les Monts de Traras ont livré quelques rares résultats, qui permettent néanmoins une attribution biostratigraphique de certains niveaux, tandis que les échantillons des Monts de Ghar Roubane n'ont livré aucun palynomorphe.

Du côté marocain, plus proche de la frontière algérienne, les niveaux équivalents des Monts de Ghar Roubane, c.à.d. dans la boutonnière de Zekkara, n'ont pas non plus livré des microfossiles exploitables. Ainsi, nous n'avons pas pu confirmer les travaux de Fournier-Vinas (1985). Plus à l'Ouest, dans le Massif de Tazekka, des assemblages plus riches ont été découverts, confirmant les travaux précédents réalisés durant les années 1980. Une partie de nos travaux a ainsi comme but de décrire ces assemblages avec plus de détails.

Un travail paléontologique contient en toute logique aussi une analyse taxonomique. Par contre, une étude monographique, avec une analyse taxonomique de toutes les espèces et tous les genres ne peut pas être réalisée, vu le grand nombre de taxons rencontrés. Néanmoins, nous présentons ici une documentation complète de l'assemblage du Massif de Tazekka.

Par contre, dans le contexte d'autres révisions détaillées de taxons d'acritarches réalisées ces dernières années, nous présentons ici une révision d'un genre d'acritarche cambro-ordovicien décrit pour la première fois en Algérie dans les années 1960, mais qui n'a jamais été revu en détail jusque maintenant : *Saharidia* Combaz 1967. D'une manière similaire, le genre *Vulcanisphaera* Deunff 1961, également décrit pour la première fois en Algérie, a été révisé en détail dans le cadre d'une autre thèse de doctorat, révision à laquelle nous avons contribué en analysant le matériel algérien (Kroeck et al. 2020).

### *Présentation des travaux*

Cette thèse est composée de plusieurs parties (articles publiés ou chapitres rédigés dans la perspective d'une publication à l'avenir) indépendantes, mais chacune couvre

(comble) une lacune et apporte des nouvelles pour la compréhension de l'histoire géologique de la région : âge des séries, environnement de dépôt, paléogéographie.

-La première partie (Chapitre II) est consacrée à la partie algérienne de la zone d'étude : Monts des Traras et Monts de Ghar Roubane. L'objectif ici est tout d'abord de dater les niveaux étudiés (qui n'ont jamais été datés auparavant), de décrire les assemblages d'acritarches trouvés et d'en tirer des conclusions sur les environnements de dépôts et la paléogéographie. Comme indiqué plus haut, seul l'étude palynologique dans les Monts des Traras ont donné des résultats.

-La deuxième partie (Chapitre III) concerne la partie marocaine de la zone d'étude : Tazekka et Zekkara. Vu que cette dernière région n'a pas fourni de résultats, l'objectif ici est de décrire les assemblages palynologiques du Massif de Tazekka, de préciser l'âge des formations étudiées, et d'interpréter les paléo-environnements ainsi que la paléogéographie.

-La troisième partie (Chapitre IV) est la révision taxonomique du genre défini dans le Sahara algérien par Combaz 1967, et qui présente un bon marqueur du passage Cambrien-Ordovicien : *Saharidia* Combaz 1967. L'étude montre un aspect intéressant concernant les affinités biologiques de ce taxon, car ce genre présente une grande similitude morphologique avec un autre genre d'acritarche du Récent, *Halodinium verrucatum* Gurdebeke et al. 2018, qui existe toujours dans les mers actuelles, et qui a été attribué aux Ciliés.

-Une dernière partie de notre travail concerne les annexes. Nous présentons les deux articles scientifiques déjà publiés, ainsi que les quatre résumés (abstracts) de nos présentations à des congrès internationaux.

## Références bibliographiques

- Barss, M. S. & Williams, G.L. (1973). Palynology and nannofossil processing techniques. *Geological Survey of Canada Papers*, 73(26): 25 pp.
- Baudelot, S. Bouillin, JP. & Coiffait, P. (1981). Découverte d'Ordovicien inférieur daté par acritarches dans l'Ouest de la Petite Kabylie (Algérie): conséquences structurales. *C.R. Acad. Sci., Paris*, sér. II, t. 293, p. 611-614.
- Baudelot, S., Charrière, A., Ouarhache, D., & Sabaoui, A. (1990). Données palynologiques nouvelles concernant l'Ordovicien et le Trias-Lias du Moyen-Atlas (Maroc). *Géologie Méditerranéenne*, 17(3), 263–277.
- Berkhli, M., Paicheler, J.-C., & Vachard, D. (1993). Données nouvelles sur la stratigraphie des terrains carbonifères de la Meseta orientale marocaine (boutonniers de Debdou, Mekam et Jerada). *Geologische Rundschau*, 82(1), 84–100.
- Chakir A. (1983). Contribution à l'étude des Acritarches du massif du Tazekka (Maroc). *Mémoire de fin d'études*, Université de Liège, 154p. (Inédit).
- Colbath, G. K. (1985). A comparison of palynological extraction techniques using samples from the Silurian Bainbridge Formation, Missouri, USA. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 44(3–4), 153–164.
- Colbath, G. K., & Grenfell, H. R. (1995). Review of biological affinities of Paleozoic acid-resistant, organic-walled eukaryotic algal microfossils (including "acritarchs"). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 86(3–4), 287–314.
- Combaz, A. (1967). Sur un microbios d'âge Trémadocien à Hassi-Messaoud. *Act. Soc. Linn. Bordeaux., Spec. Vol., Congr. Assoc. Fr. Av. Sci.(AFAS)*, 115–119.
- Cramer, F. H. (1968). Considérations paléogéographiques à propos d'une association de microplanctontes de la série gothlandienne de Birmingham (Alabama, USA). *Bulletin de La Société Géologique de France*, 7(1), 126–131.
- Cramer, F. H. (1970). Middle Silurian continental movement estimated from phytoplankton-facies transgression. *Earth and Planetary Science Letters*, 10(1), 87–93.

- Cramer, F.H. & Diez, M.C.R. (1977). Acritarchs. *International Union of Geological Sciences Series A*, 5: 289-291.
- Cramer, F. H., & Diez, M.C.R. (1979). Lower Paleozoic acritarchs. *Palinologia*, 1: 17-160.
- Cramer, F. H., Kanes, W. H., Díez, M. del C. R., & Christopher, R. A. (1974). Early Ordovician Acritarchs from the Tadla Basin of Morocco. *Palaeontographica Abteilung B*, 146(3-6), 57-64.
- Deflandre, G., & Deflandre-Rigaud, M. (1962). Nomenclature et systématique des Hystrichosphères (sens. lat.). Observations et rectifications. *Revue de Micropaléontologie*, 4(4), 190-196.
- Deflandre, G., & Deflandre-Rigaud, M. (1964). Notes sur les acritarches. *Revue de Micropaléontologie*, 7, 111-114.
- Deunff, J., (1977). Un microplancton a Acritarches dans les schistes Llanvirns de l'Anti-Atlas (Zagora, Maroc). *Notes et Mémoires du Service Géologique*, 268: 141-151.
- Doherty, L. I. (1980). Palynomorph preparation procedures currently used in the paleontology and stratigraphy laboratories, *U. S. Geological Survey*. 830, 29p,
- Dorning, K. J. (1981). Silurian acritarch distribution in the Ludlovian shelf sea of South Wales and the Welsh Borderland. *Microfossils from Recent and Fossil Shelf Seas*, 31-36.
- Downie, C., Evitt, W. R., & Sarjeant, W. A. S. (1963). Dinoflagellates, hystrichospheres, and the classification of the acritarchs. Stanford University publications. *Geological sciences*. 7 (3), 16p.
- Ediger, V. S. (1986). Sieving techniques in palynological sample processing with special reference to the MRA system. *Micropaleontology*, 32(3), 256-270.
- Eisenack, A. (1931). Neue Mikrofossilien des baltischen Silurs. I. *Palaeontologische Zeitschrift*, 13(1), 74-118.

- Eisenack, A. (1969). Zur Systematik einiger paläozoischer Hystrichosphären (Acritarcha) des baltischen Gebietes. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 133(3), 245–266.
- Evitt, W. R. (1963). A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichosphères, and acritarchs, II. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 49(3), 298.
- Fournier-Vinas, C. (1985). Acritarches ordoviciens des Zekkara (Maroc oriental). *Geobios*, 18(6), 807–821.
- Fensome, R. A., MacRae, A. R., Williams, G. L. (1998). Évolution des dinoflagellés et variation de leur diversité dans le temps. *Marine Micropaleontology*, 1–6.
- Gray, J. (1965). Extraction techniques. In: B. Kummel and D. Raup (Editors), *Handbook of Paleontological Techniques*. W.H. Freeman, San Francisco, Calif., p. 530-587.
- Guardia, P. (1975). Géodynamique de la marge alpine du continent Africain d'après l'étude de l'Oranie Nord-occidentale. Relations structurales et paléogéographiques entre le rif externe, le Tell et l'avant-pays atlasique. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université de Nice, 239 p
- Gurdebeke, P. R., Mertens, K. N., Takano, Y., Yamaguchi, A., Bogus, K., Dunthorn, M., Matsuoka, K., Vrielinck, & Louwye, S. (2018). The affiliation of *Hexasterias problematica* and *Halodinium verrucatum* sp. nov. to ciliate cysts based on molecular phylogeny and cyst wall composition. *European Journal of Protistology*, 66, 115–135.
- Hyde H. A., & Williams D. A. (1944). The right word. *Pollen Analysis Circular* 8, 6.
- Jardiné, S., Combaz, A., Magloire, L., Peniguel, G., & Vachey, G. (1974). Distribution stratigraphique des acritarches dans le Paléozoïque du Sahara algérien. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 18(1–2), 99–129.
- Kroeck, D. M., Blanchon, M., Zacaï, A., Navidi-Izad, N., Benachour, H. B., Monnet, C., Raevskaia, E., Szczepanik, Z., & Servais, T. (2020). Revision of the Cambro-Ordovician acritarch genus *Vulcanisphaera* Deunff, 1961. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 104212.

- Laufeld, D. S. (1967). Caradocian Chitinozoa from Dalarna, Sweden. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar*, 89(3), 275–349.
- Lucas G. (1938). Existence des phtanites gothlandiens à Radiolaires près d'Oujda (Maroc Oriental). *C. R. somm. S. G. F.*, p. 16.
- Lucas, G. (1942). Description géologique et pétrographique des Monts de Ghar-Roubane et du Sidi-el-Abed (frontière algéro-marocaine): *Bull. Service Carte d'Algérie, 2ème Sér., Stratigraphie, Descriptions Régionales*, Tomes I et II. Vol. 16: 538 pp
- Lucas, G. (1952). Bordure nord des hautes plaines dans l'Algérie occidentale: Primaire, Jurassique. Analyse structurale. *XIXème Congrès géologique international, Alger*, 1ère série, 139p.
- Mädler, K. (1963). Die figurierten organischen Bestandteile der Posidonienschiefer. *Beihefte zum Geologischen Jahrbuch*. 58, 287–406.
- Marhoumi, M.-R., Rauscher, R., & Vanguestaine, M. (1982). Les microfossiles (Chitinozoaires et Acritarches) des schistes du Tazekka au Maroc oriental. *Sciences Géologiques, Bulletins et Mémoires*, 35(3), 137–145.
- Martin, F. (1993). Acritarchs : a review. *Biological Reviews*, 68(4), 475–537.
- Moldowan, J. M., Dahl, J., Jacobson, S. R., Huizinga, B. J., Fago, F. J., Shetty, R., Watts, D. S., & Petters, K. E. (1996). Chemostratigraphic reconstruction of biofacies: molecular evidence linking cyst-forming dinoflagellates with pre-Triassic ancestors. *Geology*, 24(2), 159–162.
- Moldowan, J.M., & Talyzina, N.M., (1998). Biogeochemical evidence for dinoflagellate ancestors in the Early Cambrian. *Science*, 281(5380): 1168-1170.
- Montenari, M. & Servais, T. (2000). Early Paleozoic (Late Cambrian–Early Ordovician) acritarchs from the metasedimentary Baden-Baden–Gaggenau zone (Schwarzwald, SW Germany). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 113(1–3), 73–85.
- Owodenko B., Termier H., & Delepine G. (1938) - Sur la présence du Silurien et du Dévonien au Sud de Naima (feuille Oujda, Maroc oriental). *C.R. Acad. Sci., Paris*, 206, 523-525

- Pirozynski, K. A. (1976). Fossil fungi. *Annual Review of Phytopathology*, 14(1), 237–246.
- Rauscher, R. (1973). Recherches micropaléontologiques et stratigraphiques dans l'Ordovicien et le Silurien en France: études des Acritarches, des Chitinozoaires et des spores (Thèse de doctorat). Université Louis Pasteur de Strasbourg. 371p.
- Rauscher, R., Marhoumi, M.-R., & Vanguetaine, M. (1982). Datation palynologique des schistes du Tazekka au Maroc. Hypothèse structurale sur le socle hercynien de la Meseta orientale. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 294, D, p. 1203-1206.
- Servais, T. (1996). Some considerations on acritarch classification. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 93(1–4), 9–22.
- Vanguetaine, M. (1974). Espèces zonales d'Acritarches du Cambro-Tremadocien de Belgique et de l'Ardenne française. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 18(1–2), 63–82.
- Van Leckwijck W., & Termier H. (1938). Observations géologiques sur la partie SW de la feuille Taza au 1/100.000e (Maroc oriental). *C.R. somm. Soc. géol. Fr.*, 6, 86-87
- Vecoli, M. (1996). Stratigraphic significance of acritarches in Cambro-Ordovician boundary strata, Hassi-R'Mel area, Algerian Sahara. *Bollettino-societa paleontologica italiana*, 35, 3–58.
- Vecoli, M. (1999). Cambro-Ordovician palynostratigraphy (acritarchs and prasinophytes) of the Hassi-R'Mel area and northern Rhadames Basin, North Africa. *Palaeontographia Italica*, 86, 1–112.
- Wood, G. D., Gabriel, A.M., & Lawson, J.C. (1996). Chapter 3. Palynological techniques-processing and microscopy. In: Jansonius, J., & McGregor, D.C., eds., *Palynology: Principles and Application. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation*, 1, 29–50.

**CHAPITRE II**

**DATATION PALYNOLOGIQUE DE  
L'ORDOVICIEN DANS LES MONTS DES  
TRARAS**

**(NORD-OUEST ALGERIEN)**

## CHAPITRE II :

### Datation palynologique de l'Ordovicien dans les Monts des Traras (Nord-ouest Algérien)

Chapitre qui a servi à la rédaction du manuscrit soumis et publié dans *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 297/1 (2020), 113-123.

#### Lower Paleozoic acritarchs from the Traras Mountains – First evidence of Ordovician sediments in northwestern Algeria

par

Benachour H. B<sup>a,b</sup>., Mebarki K<sup>c</sup>., Bensalah M<sup>a</sup>., Kröck D<sup>b</sup>., Navidi–Izad N<sup>d</sup>. et Servais T<sup>b</sup>.

<sup>a</sup> Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, Laboratoire de Recherche n° 25 «PRHPM-LECT», Université de Tlemcen, Tlemcen 13000, Algérie

<sup>b</sup> Université de Lille, CNRS, UMR 8198 - Evo-Eco-Paléo, F-59000 Lille, France

<sup>c</sup> Faculté des Sciences de la nature et de la vie, Université Ibn Khaldoun-Tiaret

<sup>d</sup> Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, 49 Mofatteh Avenue, 15614 Tehran, Iran

#### Résumé

Les terrains du Paléozoïque inférieur des Monts de Traras dans l'Algérie nord occidentale ont fait l'objet d'une analyse palynologique. Certains niveaux de la Formation de 'Psammites bioturbés' ont livré quelques spécimens d'acritarches. Ce qui a permis d'attribuer un âge Ordovicien Moyen à Supérieur à cette formation grâce à la présence des deux espèces *Villosacapsula setosapellicula* et *Orthosphaeridium bispinosum*. Ceci représente la première datation biostratigraphique de terrains anté-Silurien dans le Nord-ouest algérien.

**Mots clés:** Palynologie, acritarches, biostratigraphie, Monts des Traras, Ordovicien.

#### 1. Introduction

Les données actuelles sur les terrains paléozoïques, et plus précisément le Paléozoïque inférieur, de l'Algérie du Nord demeurent très limitées. Cela peut être expliqué par un manque d'affleurement qui se limite dans des petites boutonnières dispersées. On y retrouve généralement des terrains présentant une couverture végétale dense, rendant l'étude de ces terrains très difficile.

D'autre part, les terrains paléozoïques du Nord de l'Algérie sont généralement très déformés et métamorphisés, en particulier les terrains du Paléozoïque inférieur. Ces faits, alliés à l'absence de repères paléontologiques, rendent les reconstitutions stratigraphiques hypothétiques (Ciszak 1993).

Dans le Nord-ouest de l'Algérie, les terrains paléozoïques (Fig. 1) ont été étudiés principalement par; Lucas (1942, 1950) pour les Monts de Ghar Roubane et la région de Tifrit, Guardia (1975) pour les Monts de Traras et Ciszak (1993) qui a réétudié les Monts de Traras avec les affleurements de l'Oranie. Toutes ces études ont permis d'établir une subdivision stratigraphique des terrains paléozoïques de la région. Cette subdivision, basée sur les fossiles découverts pour les terrains siluriens et postérieurs, demeure hypothétique pour les terrains antérieurs, qualifiés jusqu'à présent d'azoïques.

Depuis Ciszak (1993), aucun travail sur le Paléozoïque de la région n'a été publié. Pour avoir des précisions sur ces formations, les dater et mieux comprendre le Paléozoïque inférieur dans cette région, des analyses palynologiques ont été réalisées sur des échantillons qui proviennent des Monts de Traras. Ces résultats apporteront pour la première fois des précisions sur l'âge des formations anté-siluriennes dans la région.

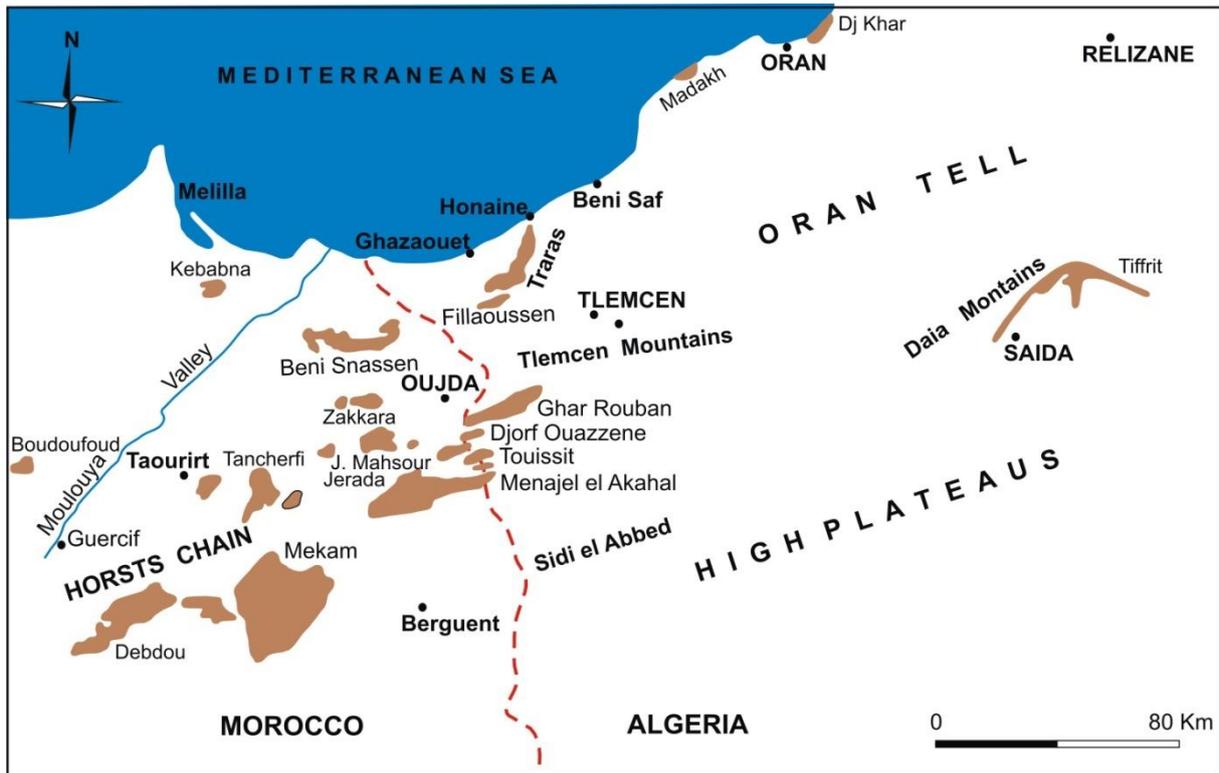


Fig. 1. Carte de la situation des principaux massifs paléozoïques de part et d'autre de la frontière algéro-marocaine (d'après Ciszak 1993)

## 2. Bref Historique

L'existence des terrains primaires dans l'Oranais est reconnue depuis Pomel en 1871 (Ciszak 1993). Les Monts de Traras, objet de cette étude, ont été parcourus par plusieurs géologues (Ville 1852, Pomel 1889, Bleicher 1875, Dalloni 1919). Gentil (1903) a présenté en détail, dans sa thèse, les diverses opinions des chercheurs qui ont travaillé sur la région.

Plus au Sud, Lucas (1942, 1950) établit la stratigraphie du Paléozoïque du Massif de Ghar Roubane et la région de Tifrit grâce à la découverte de fossiles. Ces travaux servent de référence pour tous les chercheurs qui travailleront plus tard dans la région. Ils permettent en particulier à Guardia (1975) de faire la subdivision lithologique des terrains paléozoïques dans les Monts des Traras et de retracer les principaux événements tectoniques qui ont affecté la région.

Les travaux postérieurs des chercheurs, représentés par quelques publications (Beaujard et al. 1976a, 1976b, Centene et Ciszak 1976, Gonord et Rolet 1976) et clôturés par la thèse de Ciszak (1993), n'ont modifié que légèrement le découpage de Guardia (1975), qui

reste jusqu'à présent le travail de référence pour tout chercheur désirant travailler sur les Monts de Traras.

### **3. Matériels et méthodes**

#### *3.1. Méthodes palynologiques*

Plusieurs missions de terrain ont été réalisées, avec levé de coupes détaillées, et échantillonnage systématique dans les Monts de Traras et les Monts de Ghar Roubane (au Sud de la ville de Tlemcen, proche des frontières algéro-marocaines). Ont été ciblés durant l'échantillonnage les faciès les plus fins et les plus sombres, en évitant les faciès oxydés. Il s'agit parfois de joints de stratification qui ne dépassent pas le centimètre.

Les échantillons prélevés ont été traités dans le laboratoire UMR 8198 Evo-Eco-Paleo de l'Université de Lille/CNRS, France, par les techniques standards de préparation des lames palynologiques, en utilisant les acides chlorhydrique et fluorhydrique.

Des lames minces palynologiques ont été préparées sur base des résidus issus des attaques acides des échantillons de roches. L'observation des lames et les photographies des acritarches ont été réalisées avec les microscopes Carl Zeiss (AxioImager) de l'équipe "Paléontologie" du même laboratoire.

Malheureusement l'analyse des échantillons de la région de Ghar Roubane n'a donné aucun résultat. Seuls les échantillons prélevés dans les Monts de Traras ont pu aboutir à des résultats. C'est pour cette raison qu'on ne va parler ici que de cette dernière région.

#### *3.2. Contexte géologique*

Le Massif des Traras fait partie de l'avant-pays tello-rifain. Il est situé dans l'Algérie nord-occidentale (Fig. 2). Il s'agit ici du domaine tlemcenien septentrional. Il est limité au Nord par la Méditerranée, à l'Ouest par Beni Snansen (Maroc), à l'Est par le bassin de la Tafna et au Sud par la dépression de Maghnia.

Les terrains paléozoïques affleurent largement au cœur de ce massif. Guardia (1975) a pu réaliser le découpage suivant :

- Un Infra-Silurien représenté par la Formation pélitique basale suivi par la Formation des psammites bioturbés.

-Un Silurien fossilifère formé de phanites et de pélites.

-Un Dévonien représenté par des flyschs microconglomératiques et des calcaires à Tentaculites, connus seulement sous forme de galets dans un conglomérat viséen (Carbonifère).

-Un Carbonifère Inférieur représenté par des dolomies à polypiers et une série volcano-détritique.

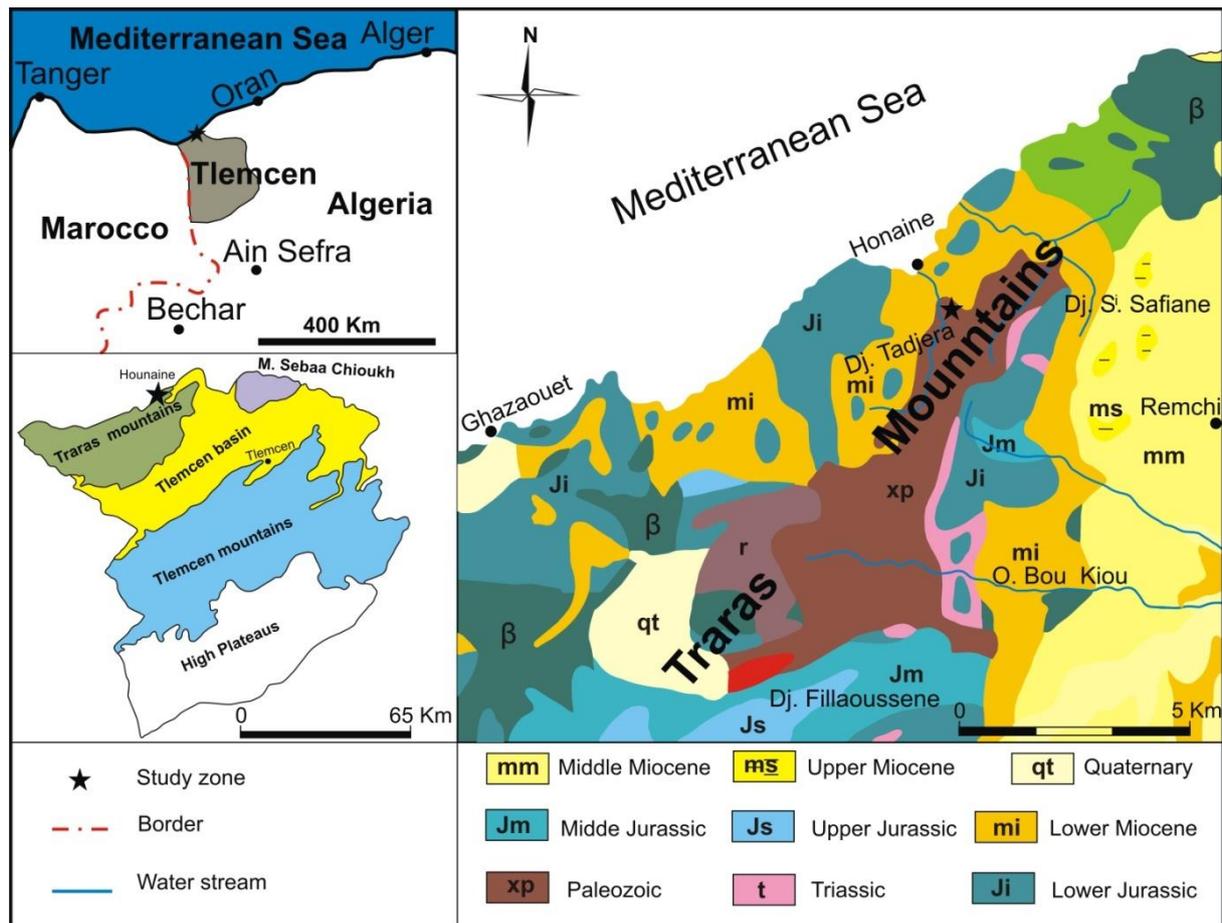


Fig. 2. Localisation des Monts de Traras.

Les échantillons ont été prélevés dans la Formation des psammites bioturbés, sur la rive Est de l'Oued Honaine (Fig. 3). Cette formation définie et décrite par Guardia (1975) affleure largement dans le Nord du Massif des Traras. L'épaisseur de cette formation est difficile à évaluer, en raison de la tectonique intense qui a déformé le matériel de la région. Elle peut atteindre jusqu'à 200 m dans certains endroits.

En matière de lithologie, la Formation des psammites bioturbés est formée d'alternance de grès psammitiques fins, de couleur verdâtre à grisâtre, avec des traces d'activité biologique et de pélites gréseuses (Fig. 4).

Latéralement, plus au Sud (affleurements centraux de Guardia 1975), à Ras el Menara, ce faciès passe à des psammites lités à figures de charges et de courant. Les traces d'activité biologique deviennent rares. Il s'agit ici de la Formation des psammites lités (Guardia 1975).

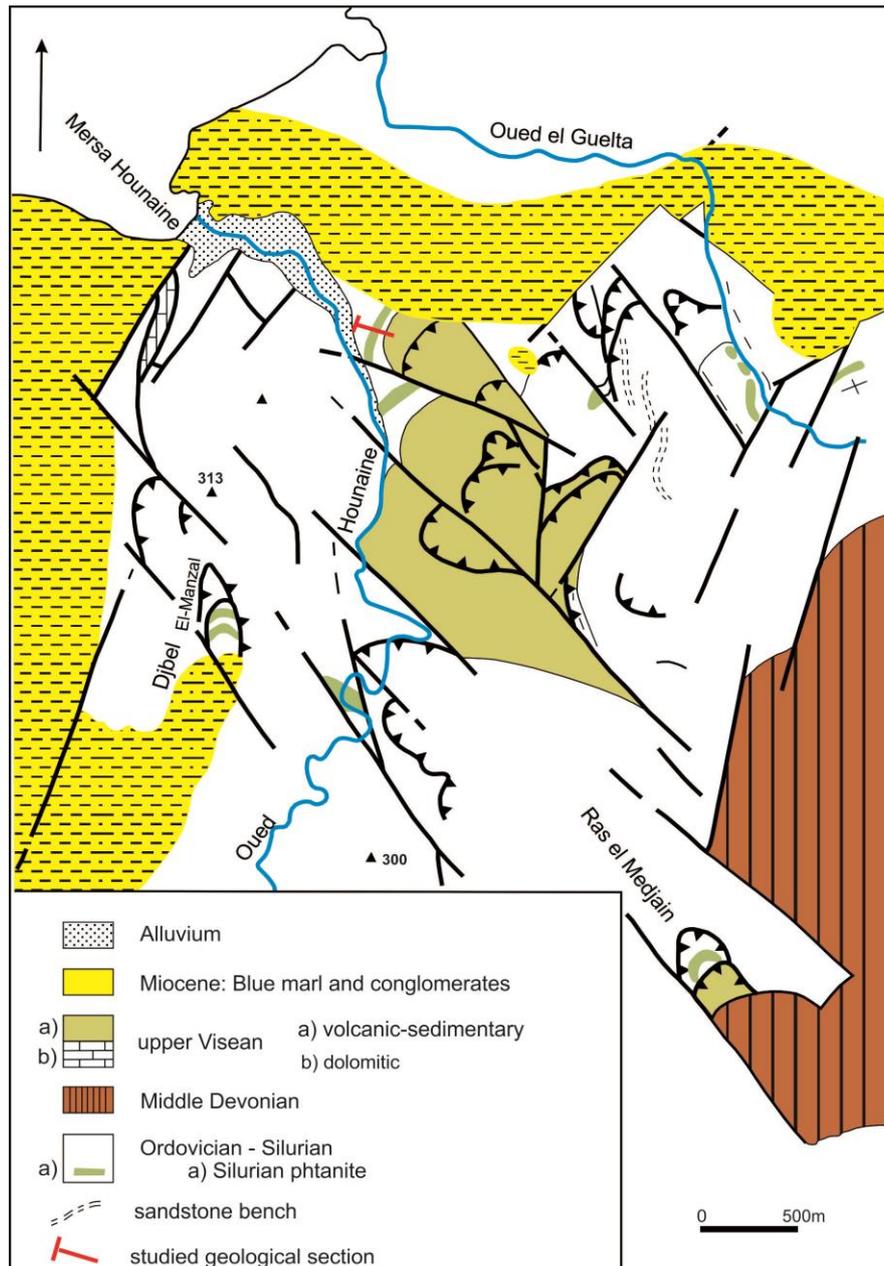


Fig. 3. Carte géologique simplifiée de la région d'étude (d'après Cizak 1993)

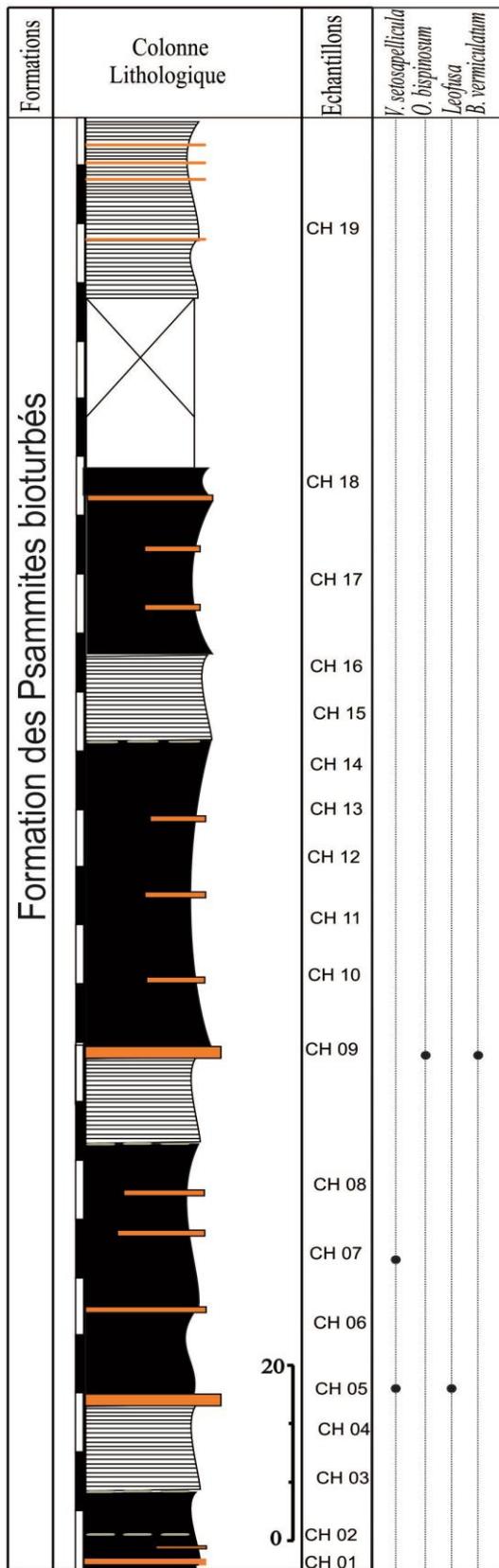


Fig. 4. Log stratigraphique de la formation des psammites bioturbés, avec la position des échantillons palynologiques et la distribution des taxons d'acritarches identifiés.

## 4. Résultats et discussion

Dix-neuf (19) échantillons prélevés de la Formation des psammites bioturbés de Guardia (1975) ont été analysés. Cet échantillonnage a été effectué sur le flanc Est de l'oued Honaine.

Tous les échantillons analysés sont très pauvres, voire même stériles. Cela ne nous a pas empêché de trouver et d'identifier quelques spécimens d'acritarches de bonne valeur stratigraphique, nous permettant de dater avec certitude, pour la première fois, l'Ordovicien dans les Monts des Traras.

### 4.1. Description des acritarches identifiés

Parmis les acritarches observés dans nos lames, la plupart d'entre eux sont très mal conservés, ce qui rend l'identification difficile, voire même impossible. On a pu reconnaître deux espèces de bonne valeur stratigraphique; *Orthosphaeridium bispinosum* Turner, 1984 et *Villosacapsula setosapellicula* (Loeblich, 1970) Loeblich et Tappan, 1976.

-*Orthosphaeridium bispinosum* Turner, 1984 (Plate I, fig. 4)

Le genre *Orthosphaeridium* Eisenack, 1968 a fait l'objet d'une révision taxonomique très récente par Navidi-Izad et al. (2020); parmi les 20 espèces qui existaient dans la littérature, quatre seulement ont été acceptées et validées par cette étude, y compris *Orthosphaeridium bispinosum*. Cette espèce présente une coque à contour circulaire, avec un diamètre de  $\pm 25 \mu\text{m}$ . Un seul spécimen a été trouvé dans notre matériel (échantillon ch 09); il possède deux processus polaires dont les extrémités sont cassées. Ces processus sont creux, et ne communiquent pas avec la cavité interne de la vésicule.

### Répartition stratigraphique

*Orthosphaeridium bispinosum* a été enregistrée dans l'Ordovicien Supérieur de l'Angleterre (Turner 1984), le Caradoc supérieur de l'Arabie Saoudite (Jachowicz 1995), le Caradoc–Ashgill inférieur de Jordanie (Keegan et al. 1990), l'Arénig supérieur du Nord-Ouest de l'Angleterre (Cooper et al. 1995 ; Molyneux 1999), le Caradoc d'Estonie (Uutela et Tynni, 1991), le Caradoc inférieur–Ashgill du Nord du Gondwana (Vecoli et Le Hérisse 2004); le Caradoc–Ashgill de l'Iran (Ghavidel–Syooki et Khosravi 1995; Ghavidel–Syooki et Hoseinzadeh 2010; Mahmoudi et al. 2014; Ghavidel–Syooki et al. 2014; Ghavidel–Syooki et Borji 2018), le Dapingien supérieur–Darriwilien inférieur dans le Nord-Ouest de l'Angleterre

(Molyneux 2009); le Caradoc–Ashgill de l’Ouest de l’Iraq (Al–Ameri 2010); et le début du Katien supérieur du Sud-Ouest de la Libye (Abuhamida 2013).

*-Villosacapsula setosapellicula* (Loeblich 1970) Loeblich et Tappan 1976

Il s’agit d’un acritarce de contour triangulaire, avec présence de trois processus creux à chaque angle de la coque. L’épaisseur de la paroi est relativement mince. *Villosacapsula* se distingue des autres acritarces triangulaires (*Verhyachium trispinosum*, *Arkonia*) par sa surface caractéristique ornée de granules.

Trois (3) spécimens ont été identifiés dans notre matériel. Ils présentent entre 20 et 25 µm de diamètre.

*Répartition stratigraphique:*

Downie (1984) indiquait un âge Caradoc moyen en résumant la littérature. L’espèce a néanmoins été trouvé dans d’autres niveaux, notamment du Caradoc à Ashgill en Jordanie (Keegan et al. 1990), du Caradoc supérieur à Ashgill en Lybie (Hill et Molyneux 1988), de l’Ashgill du Maroc (Elaouad-Debbaj 1988), de l’Ordovicien Supérieur de Bohême (Vavrdová 1988), de l’Ordovicien Supérieur des Etats Unis (Wright et Meyers 1981), mais aussi du Silurien inférieur, notamment du Wenlock supérieur au Ludlow en Espagne (Mette 1989). Vecoli et Le Hérisse (2004) indiquaient une première apparition dans la partie supérieure de l’Ordovicien Moyen.

Toutes les occurrences de *Villosacapsula setosapellicula* indiquent une distribution entre la partie supérieure de l’Ordovicien Moyen et l’Ordovicien Supérieur (Caradoc-Ashgill). Celles du Silurien pourraient être considérées comme remaniées.

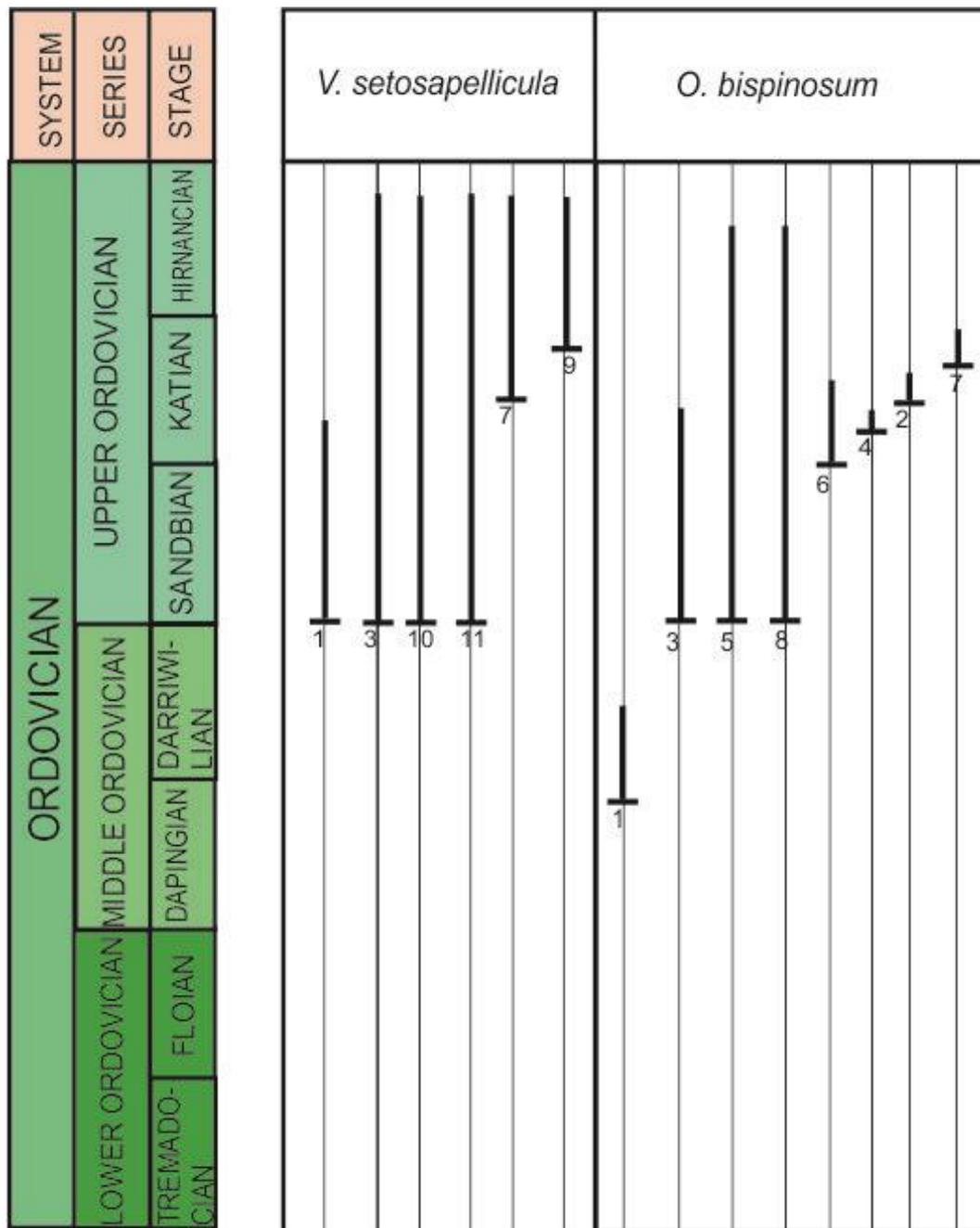


Fig. 5. Répartition stratigraphique globale des espèces *V. setosapellicula* et *O. bispinosum*

1. Angleterre (Downie 1984, Turner 1984), 2. Sud-ouest de l'Angleterre (Turner 1984), 3. Jordanie (Keegan et al. 1990), 4. Estonie (Uutela et Tynni 1991), 5. Iran (Ghavidel–Syooki et Khosravi 1995; Ghavidel–Syooki et al. 2014; Mahmoudi et al. 2014; Ghavidel–Syooki et Borji 2018), 6. Arabie Saoudite (Jachowicz 1995), 7. Libye (Hill et al. 1989), 8. Nord Gondwana (Vecoli et Le Hérisse 2004), 9. Maroc (Elaouad-Debbaj 1988), 10. République Tchèque (Vavrdová 1988), 11. Etats-Unis (Wright et Meyers 1981).

#### 4.2. Age de la Formation

L'étude des occurrences des deux espèces *V. setosapellicula* et *O. bispinosum* nous a permis de limiter l'âge des niveaux étudiés à l'Ordovicien Supérieur, même si un âge d'Ordovicien Moyen reste encore possible. Cette attribution peut-être argumentée par le fait que, d'une part, les deux espèces n'ont jamais été retrouvées dans des enregistrements plus vieux que l'Ordovicien Moyen (voire Ordovicien Supérieur). D'autre part, *Orthosphaeridium bispinosum* n'a jamais été enregistré après l'Ordovicien.

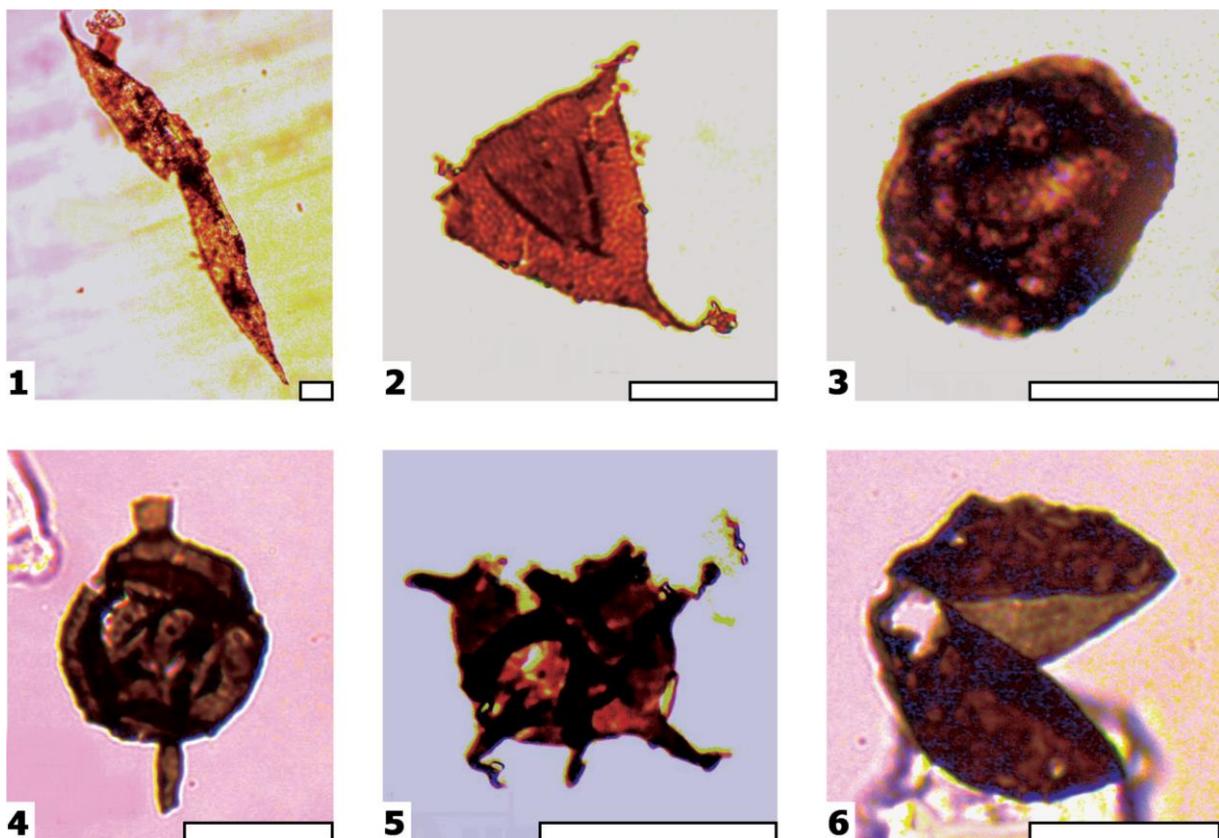


Fig. 6. Microphotographies d'une sélection des acritarches observés

1. *Leiofusa* sp., 2. *Villosacapsula setosapellicula*, 3. et 6. acritarches sphèromorphes (leiosphères), 4. *Orthosphaeridium bispinosum*, 5. acritarche acanthomorphe

## 5. Conclusion

Dans le Nord-Ouest algérien, le Paléozoïque affleure dans la région de Honaine (Monts des Traras) et dans la région de Rhar Roubane (Monts de Tlemcen).

L'analyse palynologique d'échantillons provenant des terrains du Paléozoïque inférieur de ces deux régions nous a permis de trouver quelques spécimens d'acritarches. Cette découverte concerne uniquement la Formation des psammites bioturbés, dans les Monts des Traras, tandis que le matériel de la région de Rhar Roubane n'a pas livré de matériel identifiable, vu le métamorphisme intense qui caractérise ces terrains.

Malgré le mauvais état de préservation des acritarches découverts, deux espèces avec une importance biostratigraphique sont clairement identifiées: *Villosacapsula setosapellicula* et *Orthosphaeridium bispinosum*.

Ces deux espèces caractérisent l'Ordovicien Supérieur, sans toutefois exclure l'Ordovicien Moyen. Il s'agit ici de la première datation biostratigraphique de l'Ordovicien dans l'Algérie Nord-occidentale.

## Références bibliographiques

- Abuhmida, F. (2013). Palynological analysis of the Ordovician to Lower Silurian sediments from the Murzuq Basin, southwest Libya (unpublished PhD Thesis). University of Sheffield.
- Al-Ameri, T. K. (2010). Palynostratigraphy and the assessment of gas and oil generation and accumulations in the Lower Paleozoic, Western Iraq. *Arabian Journal of Geosciences*, 3(2), 155–179.
- Beaujard, D., Hassini, A. & Pawlowski, R. (1976a). Les Pillows-Lavas d'âge Paléozoïque du Massif des Traras (Algérie Occidentale): Etude Pétrographique. *4ème Réunion Annuelle des Sciences de la Terre. Livre en dépôt à la Société Géologique de France*, 204; Paris.
- Beaujard, D., Centene, A., Ciszak, R., Gonord, H., Hacini, A., Pawlowski, R., & Rolet, J. (1976b). Le massif des Traras: un jalon pour la reconstitution de l'histoire hercynienne nord-maghrébine; précisions stratigraphiques, volcanologiques et structurales sur sa

- partie septentrionale (région d'Honaine), Algérie occidentale. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de l'Afrique du Nord*, 67, 225–237.
- Bleicher, M. (1875). Note sur la géologie des environs d'Oran. *Bull. Soc. Géol. France*, (3), t. III, p. 187-195.
- Centene, A. & Ciszak, R. (1976). Données lithostratigraphiques sur le Silurien des Traras; un niveau repère pour la compréhension de la structure (région d'Honaine, Algérie occidentale). *4ème Réunion Annuelle des Science de la Terre. Livre en dépôt à la Société Géologique de France*, 102; Paris.
- Ciszak, R. (1993). Evolution géodynamique de la chaîne tellienne en Oranie (Algérie occidentale) pendant le Paléozoïque et le Mésozoïque. Thèse de Doctorat ès Sciences, Université Paul Sabatier, Toulouse. 513pp.
- Cooper, A. H., Rushton, A. W. A., Molyneux, S. G., Hughes, R. A., Moore, R. M., & Webb, B. C. (1995). The stratigraphy, correlation, provenance and palaeogeography of the Skiddaw Group (Ordovician) in the English Lake District. *Geological Magazine*, 132(2), 185–211.
- Dalloni, M. (1919). Le Terrain houiller sur le littoral de la province d'Oran. *C. R. Acad. Sci. Paris*. T. 168, p. 1008.
- Downie, C. (1984). Acritarchs in British Stratigraphy. *Geological Society of London, Special Reports*, 17. Blackwell Scientific, Oxford.
- Elaouad-Debbaj, Z. (1988). Acritarches de l'Ordovicien supérieur (Caradoc-Ashgill de l'Anti-Atlas, Maroc), *Revue de Micropaléontologie*, 30(4), 232–248.
- Eisenack, A. (1968). Mikrofossilien eines Geschiebes der Borkholmer Stufe, baltisches Ordovizium, F2. *Mitteilungen aus dem Geologischen Staatsinstitut in Hamburg*, 37, 81–94.
- Gentil, L. (1903). Etude géologique du bassin de la Tafna. A. Jourdan. (Tlemcen). 428 p.
- Ghavidel-Syooki, M., & Khosravi, M. E. (1995). Investigation of Lower Palaeozoic sediments at Tang-e-Zakeen of Kuh Faraghan and introduction of Seyahou and Sarchahan formations in Zagros basin, southern Iran. *Geoscience, Scientific Quarterly Journal*, 4, 2–21.

- Ghavidel-Syooki, M., & Hosseinzadeh Moghadam, M. (2010). Palynostratigraphy of early Paleozoic sediments in south of Fazel abad area, Kholin Darreh (South east of Gorgan), *Stratigraphy and Sedimentology Researches* 38, 1–24 (en Perse).
- Ghavidel-Syooki, M., & Borji, S. (2018). Chronostratigraphy of Acritarchs and Chitinozoans from upper Ordovician Strata from the Robat-e Gharabil Area, NE Alborz Mountains, Northern Khorassan Province: Stratigraphic and Paleogeographic Implications. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 29(1), 35–51.
- Ghavidel-Syooki, M., Popov, L. E., Alvaro, J. J., Ghobadi Pour, M., Tolmacheva, T. Y., & Ehsani, M.-H. (2014). Dapingian–lower Darriwilian (Ordovician) stratigraphic gap in the Faraghan mountains, Zagros ranges, south-eastern Iran. *Bulletin of Geosciences*, 89(4), 679–706.
- Gonord, H. & Rolet, J. (1976). Sur l'importance de la tectonique hercynienne en écaillage – aux différentes échelles – dans la structure des Traras (région d'Honaine – Algérie occidentale). – *4ème Réunion Annuelle des Science de la Terre. Livre en dépôt à la Société Géologique de France*, 204; Paris.
- Guardia, P. (1975). Geodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie nord-occidentale. Relations structurales et paléogéographiques entre le Rif externe, le Tell et l'avant-pays atlasique. – Thèse de Doctorat ès Sciences, Université de Nice. 239 p
- Hill, P. J. & Molyneux, S. G. (1988). Biostratigraphy, palynofacies and provincialism of Late Ordovician-Early Silurian acritarchs from northeast Libya. Garyounis University Publications, Benghazi, 27–43.
- Jachowicz, M. (1995). Ordovician acritarch assemblages from central and northwestern Saudi Arabia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 89(1–2), 19–25.
- Keegan, J. B., Rasul, S. M., & Shaheen, Y. (1990). Palynostratigraphy of the lower Palaeozoic, Cambrian to Silurian, sediments of the Hashemite Kingdom of Jordan. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 66(3–4), 167–180.
- Loeblich Jr, A. R. (1970). Morphology, ultrastructure and distribution of Paleozoic acritarchs. In *Proceedings of the North American Paleontological Convention, Chicago, 1969, part G* (Vol. 2, pp. 705–788).

- Loeblich Jr, A. R., & Tappan, H. (1976). Some new and revised organic-walled phytoplankton microfossil genera. *Journal of Paleontology*, 301–308.
- Lucas, G. (1942). Description géologique et pétrographique des Monts de Ghar-Rouban et du Sidi-el-Abed (frontière al-géro-marocaine): *Bull. Service Carte d'Algérie, 2ème Sér., Stratigraphie, Descriptions Régionales, Tomes I et II*. Vol. 16: 538 pp.
- Lucas, G. (1950). Présence de Psilophytales dans les schistes et microbrèches de la région de Saida (Oran). – *Comptes Rendus sommaires de la Société géologique de France*, 6 : 94-95.
- Mahmoudi, M., Sabouri, J., Alimohammadian, H., & Majidifard, M. R. (2014). The first report of cryptospore assemblages of Late Ordovician in Iran, Ghelli Formation, Eastern Alborz. *Geopersia* 4, 125–140
- Mette, W. (1989). Acritarchs from Lower Paleozoic rocks of the western Sierra Morena, SW-Spain and biostratigraphic results. *Geologica et Palaeontologica*, (23), 1–19.
- Molyneux, S. G. (1999). A reassessment of Manx Group acritarchs, Isle of Man. *Geological Society, London, Special Publications*, 160(1), 23–32.
- Molyneux, S. G. (2009). Acritarch (marine microphytoplankton) diversity in an Early Ordovician deep-water setting (the Skiddaw Group, northern England): Implications for the relationship between sea-level change and phytoplankton diversity. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 275(1–4), 59–76.
- Navidi-Izad, N., Hashemi, H., Régnier, S., Kroeck, D., Yan, K., & Servais, T. (2020). Revision of the Middle–Upper Ordovician acritarch genus *Orthosphaeridium* Eisenack 1968 nov. emend. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 273, 104127.
- Pomel, A. (1889). Description stratigraphique générale de l'Algérie. P. Fontana. Carte Géologique de l'Algérie. - 212 p.
- Turner, R. E. (1984). Acritarchs from the type area of the Ordovician Caradoc Series, Shropshire, England. *Palaeontographica Abteilung B Paläophytologie*, 190(4–6), 87–157.
- Uutela, A., & Tynni, R. (1991). Ordovician acritarchs from the Rapla borehole, Estonia. *Bulletin-Geological Survey of Finland*, (353).

- Vavrdová, M. (1988). Further acritarchs and terrestrial plant remains from the Late Ordovician at Hlasna Treban (Czechoslovakia). *Časopis pro Mineralogii a Geologii*, 33(1), 1–10.
- Vecoli, M. & Le Hérissé, A. (2004). Biostratigraphy, taxonomic diversity and patterns of morphological evolution of Ordovician acritarchs (organic-walled microphytoplankton) from the northern Gondwana margin in relation to palaeoclimatic and palaeogeographic changes. *Earth Science Reviews*, 67, 267-311.
- Ville, L. G. A. R. J. (1852). Recherches sur les roches, les eaux et les gîtes minéraux des provinces d'Oran et d'Alger. Imprimerie nationale. 423 p
- Wright, R. P., & Meyers, W. C. (1981). Organic-walled microplankton in the subsurface Ordovician of northeastern Kansas. *Kansas Geological Survey, Subsurface Geology, series 4:1-5*.

**CHAPITRE III:**

**DESCRIPTION DES ASSEMBLAGES  
D'ACRITARCHES DE L'ORDOVICIEN  
MOYEN DE LA REGION DE TAZEKKA  
(MAROC)**

## **CHAPITRE III :**

### **Description des assemblages d'acritarches de l'Ordovicien Moyen de la région de Tazekka (Maroc)**

Chapitre qui va servir à la rédaction d'un manuscrit à soumettre dans *Palynology*.

#### **Résumé**

Une analyse palynologique d'échantillons provenant de l'unité de Bab Azhar et des Schistes de Tazekka, dans la boutonnière de Tazekka (Maroc central) a permis de reconnaître au moins 35 genres d'acritarches. L'étude de cet assemblage a permis d'attribuer un âge Ordovicien Moyen (Darriwilien) aux niveaux étudiés. L'environnement de dépôt passe du marin profond à l'Ordovicien Inférieur à un environnement de type plate-forme distale à l'Ordovicien Moyen.

Mots clés: Tazekka, palynologie, acritarches, meseta orientale, Ordovicien.

#### **1. Introduction**

La paléo-palynologie est l'étude des microfossiles constitués de matière organique, nommés palynomorphes. En tant que discipline de la paléontologie, la paléo-palynologie constitue une clé qui mène à la compréhension des environnements qui ont contrôlé la mise en place des séries sédimentaires. Pour certaines séries du Paléozoïque inférieur, qui présentent généralement une histoire géologique plus ou moins complexe, les acritarches (principal groupe de palynomorphes dominants avec les chitinozoaires) ont parfois été le seul outil de datation (ex. Molyneux 1990, Benachour et al. 2020), ce qui a permis de répondre à des questions biostratigraphiques qui demeuraient sans réponse depuis longtemps.

Les terrains étudiés ici affleurent au Maroc dans des boutonnières (Fig. 1) dans une région nommée par les géologues marocains 'meseta' (Hoepffner et al. 2017). Dans ces boutonnières, de nombreuses formations du Paléozoïque inférieur, et plus précisément de l'Ordovicien, qui n'ont jamais livré de fossiles auparavant, ont été datées par acritarches (ex. boutonnière de Zekkara: Fournier-Vinas 1985, boutonnière de Beni Mellalla, Bsabis et El

Menzel : Baudelot et al. 1990, Tazekka : Rauscher et al. 1982, Marhoumi et al. 1982). Ces résultats viennent compléter les travaux des premiers pionniers qui ont étudié les assemblages des acritarches au Maroc : Deunff (1977) dans l'Anti-Atlas, et Cramer (Cramer et al. 1974, Cramer et Diez 1977) dans la région de Tadla.

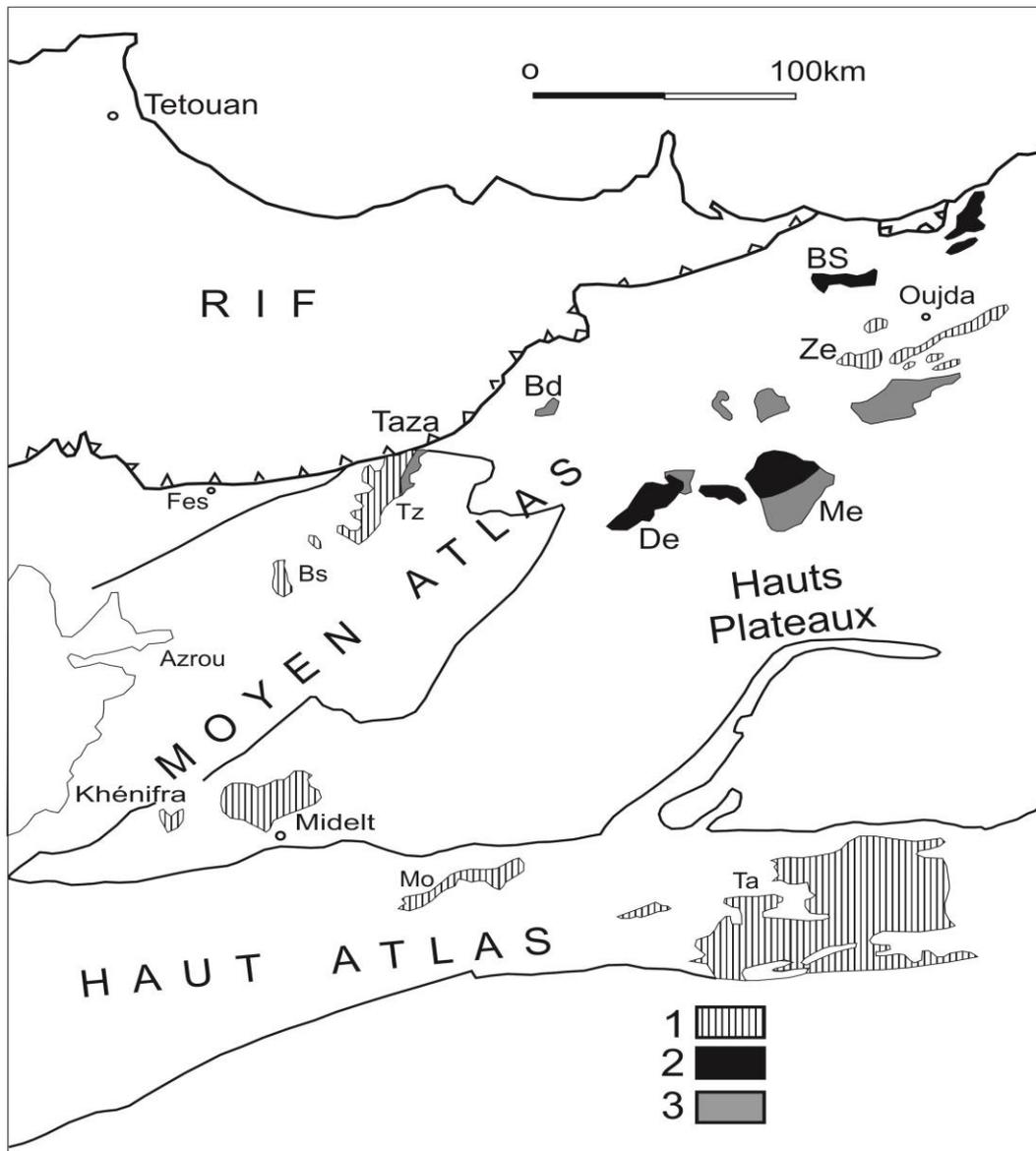


Fig. 1. Localisation des boutonnières paléozoïques au Maroc (Rauscher et al. 1982). 1. Paléozoïque inférieur ; 2. Carbonifère Inférieur ; 3. Viséen supérieur à Westphalien ; Bs. Bsabis; Tz. Tazekka ; Bd. Boudoufoud ; De. Debbou; Me. Mekam ; BS. Beni Snassène ; Mo. Mougueur; Ta. Tamelelt

La boutonnière de Tazekka se situe à la limite entre le Causse et le Moyen-Atlas, au Sud-ouest de la ville de Taza. Raucher et al (1982) et Marhoumi et al. (1982) ont découvert des acritarches pour la première fois dans la Formation des Schistes de Tazekka dans le domaine oriental de la boutonnière. Cette investigation a touché la partie basale de cette formation. Les auteurs ont publié une description sommaire des genres rencontrés dans cette étude.

Suite à une étude palynologique des terrains situés dans plusieurs boutonnières paléozoïques dans le Moyen Atlas menée par Baudelot et al. (1990), ces derniers auteurs ont pu trouver des acritarches dans la partie supérieure de l'Unité de Bab Azhar. Ces acritarches ont permis d'attribuer un âge Ordovicien Supérieur (Caradocien) aux niveaux étudiés. Dans leur publication, on ne retrouve qu'une liste de quelques acritarches rencontrés à ces niveaux sans plus de détails. Le seul travail plus ou moins détaillé sur le sujet a été présenté par Chakir (1983) dans son Master non publié sur la région de Tazekka et de Tadla.

Après plus de 30 ans, date du dernier travail sur les acritarches dans la région, beaucoup de taxons cités dans la région ont fait l'objet de révision taxonomique, p. ex. *Frankea* (Servais 1993; Fatka et al. 1997), *Peteinosphaeridium*, *Liliosphaeridium* et *Cycloposphaeridium* (Playford et al. 1995), *Dicrodiacrodium* (Servais et al. 1996), *Arkoniasphaeridium* (Servais 1997), *Aureotesta-Marrocanium* (Brocke et al. 1997), *Arbusculidium* (Fatka et Brocke 1999), *Verhachium* (Servais et al. 2007), *Coryphidium* (Servais et al. 2008), *Ampululla* (Kui et al. 2010), *Rhopaliophora* (Li et al. 2014), *Dactylofusa velifera* (Wang et al. 2015), *Barakella* (Yan et al. 2017), *Orthosphaeridium* (Navidi-Izad et al. 2020) et enfin *Vulcanisphaera* (Kroeck et al. 2020). Ces révisions avaient pour objet non seulement l'aspect taxonomique des différents taxons, mais aussi de préciser les distributions stratigraphiques et paléogéographiques, ainsi que de mettre en avant leur intérêt pour les reconstitutions paléoenvironnementales.

Avec une grande partie des taxons mieux connus aujourd'hui, une étude détaillée des assemblages de la région de Tazekka est devenue nécessaire pour mettre à jour les différents résultats et interprétations basés sur les études antérieures.

Suite à ce qui a été dit, le présent travail a pour but d'étudier les assemblages palynologiques (acritarches) des formations attribuées à l'Ordovicien Inférieur-Moyen du domaine oriental et central de la boutonnière de Tazekka. Dans un premier temps on va présenter une étude systématique des différents (importants) taxons rencontrés dans les lames

palynologiques réalisées. Puis nous aborderons leurs intérêts stratigraphiques, et enfin leurs implications environnementales.

## 2. Contexte géologique

Le Maroc est subdivisé classiquement (Fig. 2) en 4 domaines structuraux (Michard 1976, Piqué et Michard 1981); 1- *le domaine rifain* caractérisé par une activité tectonique et une instabilité maximale. 2- au coin opposé *le domaine Anti-Atlasique*, stable durant le cycle alpin. Entre ces deux derniers vient s'installer *le domaine atlasique classique* (Choubert et Marcais 1952), divisé lui-même en 2 domaines : 3- le domaine de la chaîne atlasique, formé d'une épaisse couverture secondaire plissée, et une surélévation du socle. - 4 *le domaine mésétien* avec un socle affecté par une pénéplation, au-dessus duquel s'installe une couverture quasi tabulaire, caractérisée par une tectonique cassante (Olivia 1977).

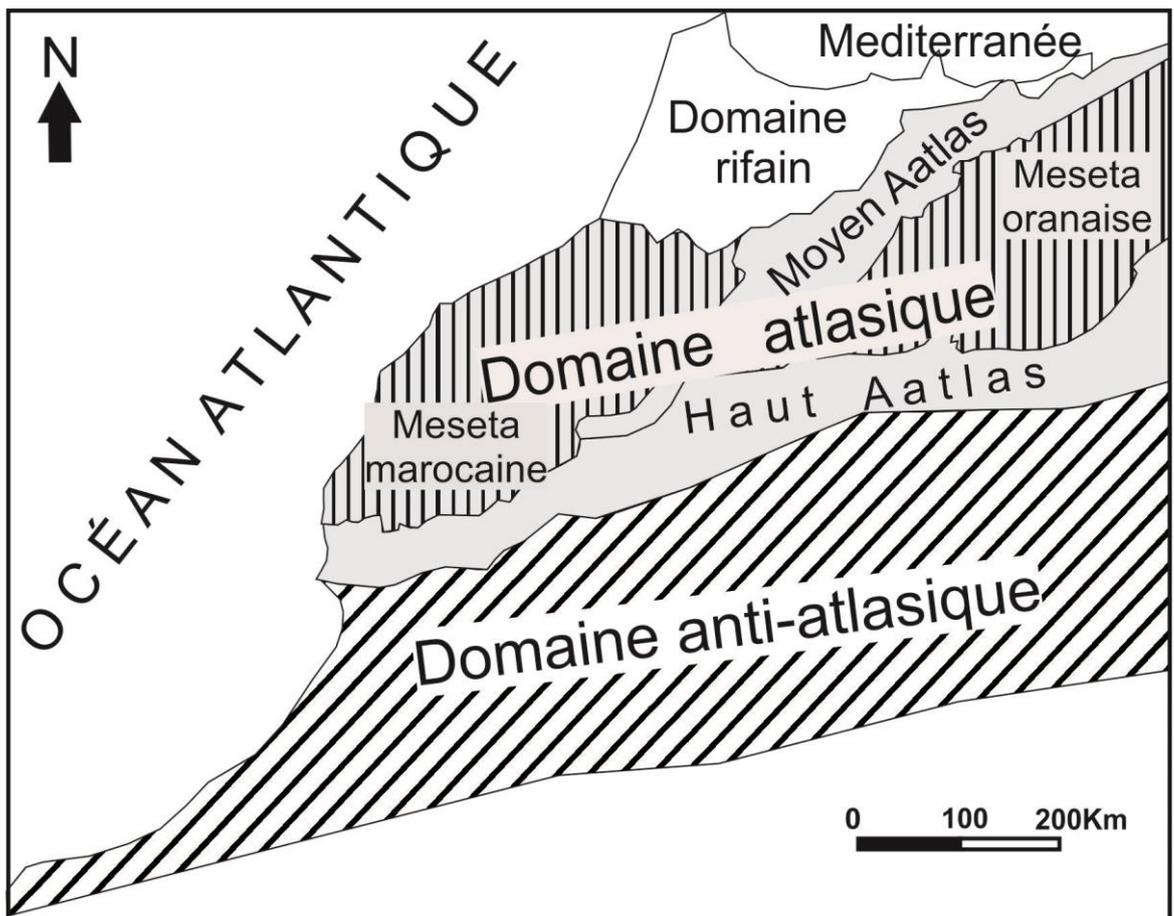


Fig. 2. Les domaines structuraux du Maroc (Michard 1976)

Les terrains paléozoïques affleurent dans le domaine mésetien sous forme de "boutonniers" dispersés. On peut distinguer deux grands ensembles (Hoepffner 1987):

*La Meseta occidentale*, qui regroupe les grandes boutonnières: les Rehamna, l'ensemble Meseta côtière- Maroc central, et les Jebilet.

*La Meseta orientale ou oranaise* caractérisée par des boutonnières dispersées, à surface réduite; les boutonnières de Midelt, de Debdou-Mekam, des Beni-Snassène, et l'ensemble de la chaîne des Horsts (Hoepffner 1987).

La boutonnière de Tazekka appartient structurellement (Chakir 1983) au Causse moyen-atlasique. D'autre part, l'analogie de faciès des Schistes de Tazekka et le style tectonique sont des facteurs qui ont permis à Hoepffner (1978) de rattacher ce massif à la Meseta oranaise (orientale).

Hoepffner (1978, 1987) subdivise le massif de Tazekka, de l'Est en Ouest, en 3 domaines structuraux (Fig. 3):

1. Le domaine oriental, ou Unité des Schistes de Tazekka, occupe la plus grande superficie du massif. Il est composé de matériel pélitique d'âge Ordovicien Inférieur. Ces schistes sont recouverts en discordance angulaire par un complexe volcano-sédimentaire daté du Viséen supérieur.
2. Au centre, un domaine intermédiaire, l'Unité 'Bab-Azhar', constituée de terrains plus ou moins métamorphisés, de l'Ordovicien Inférieur.
3. Le domaine occidental, constitué de terrains non (ou peu) touchés par le métamorphisme, qui affleurent sous forme de pointements isolés les uns des autres, dont l'âge s'étale de l'Ordovicien Inférieur au Dévonien Moyen.

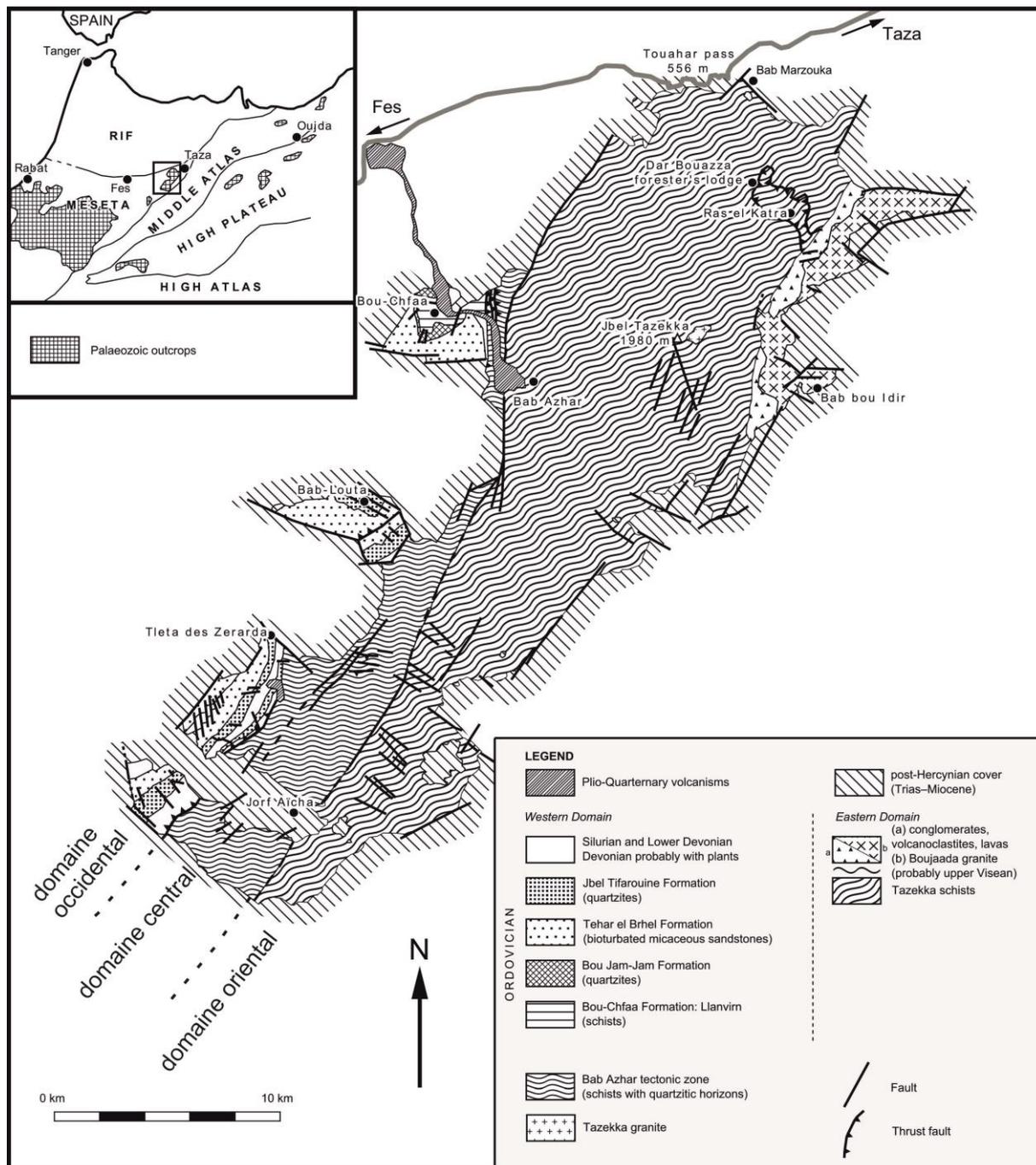


Fig. 3. Carte géologique du massif de Tazekka (Hoepffner 1987)

Du point de vue stratigraphique; le massif paléozoïque de Tazekka est représenté comme suit (Fig. 4);

1. dans le domaine orientale; avec deux différentes séries: a- les Schistes de Tazekka, de couleur vert, mauve ou rouge violacé, avec des bancs de grauwackes. L'étude palynologique effectuée par Marhoumi et al. (1982) et Rauscher et al. (1982) concernant cette formation

indique un âge Arénig-Llanvirn. b- Un ensemble volcano-sédimentaire, d'âge Viséen (Hoepffner 1981) qui surmonte la Formation des Schistes de Tazekka en discordance, dans sa partie NE.

2. le domaine intermédiaire est représenté par des schistes à passées gréseuses qui forment l'Unité de Bab Azhar.

3. le domaine occidental est marqué par une succession de formations, allant de l'Ordovicien au Dévonien moyen probable. La succession est la suivante (Chakir 1983).

a- l'Ordovicien est représenté par 4 formations, qui sont de bas en haut:

a.1-La Formation de Bou Chfaa, représentée par de Schistes à passées gréseuses, dont la partie supérieure a livré (Hoepffner 1987) *Corymbograptus retroflexus* (Perner), ce qui indique la base du Llanvirn.

a.2- La Formation de Bou Jam-Jam, d'une épaisseur de 80 à 150 m, elle est constituée de quartzite beige ou rouge violacé.

a.3- La Formation de Tahar El-Brehl : 300 à 400 m d'épaisseur de pélites gréseuses, de couleur verdâtre à grisâtre, avec une présence de forte bioturbation dans certains niveaux.

a.4- La Formation de Djbel Tifraouine, en moyenne de 300 m d'épaisseur. Cette formation est essentiellement gréseuse et quartzitique, avec des niveaux de grès grossier micro-conglomératique.

b- Le Silurien - Lochkovien est formé par un même ensemble sédimentaire. Il s'agit ici d'argilites noires à Graptolites (Hoepffner 1987). La faune de graptolites indique que l'ensemble du Silurien est représenté ici. Le Lochkovien est marqué par l'apparition de *Monograptus uniformis*.

c- Le Dévonien Moyen est représenté par la formation de Oued Bou-Ayach, formée de microconglomérats bréchiqes à débris de plantes.

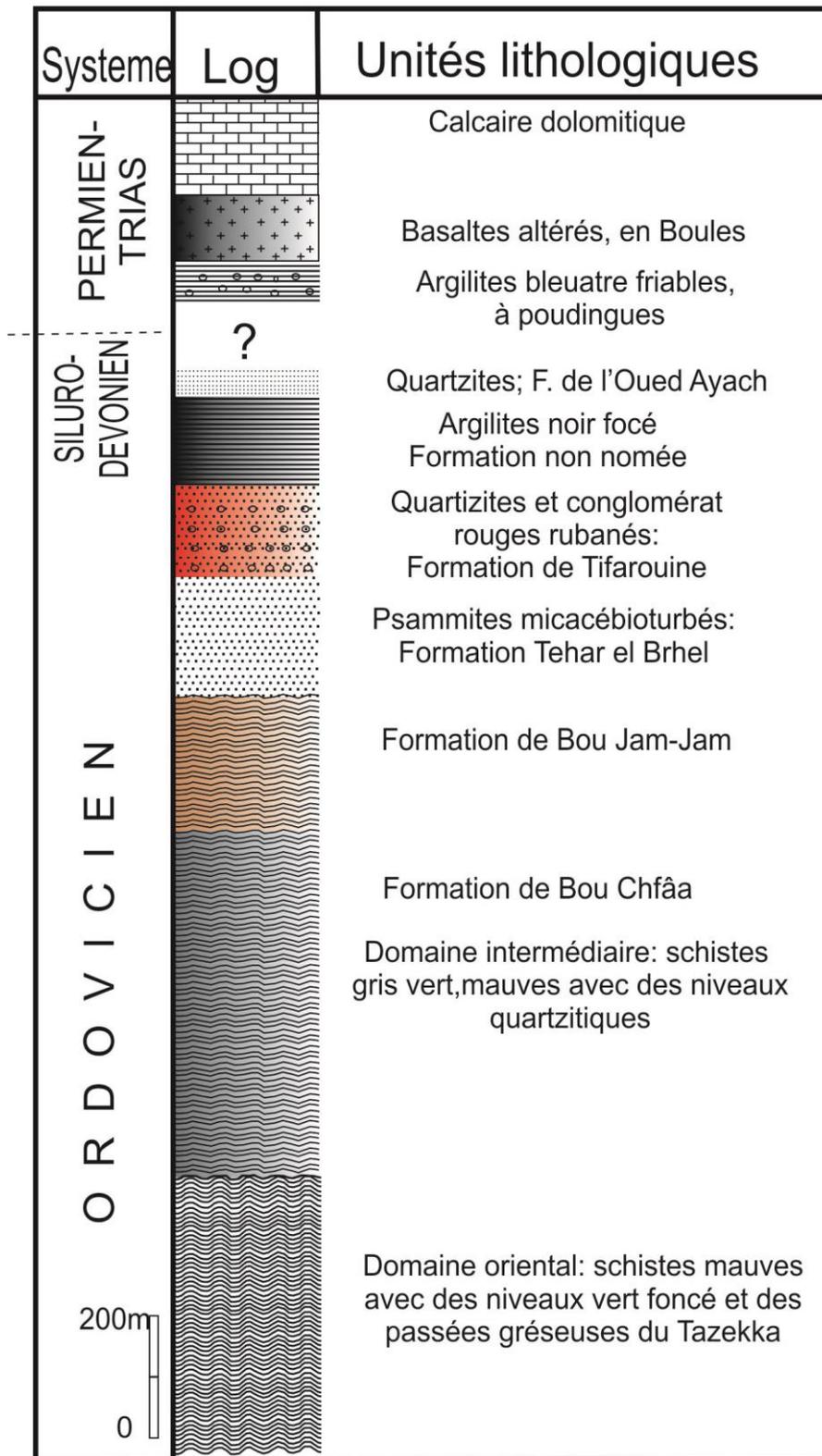


Fig. 4. Coupe lithostratigraphique synthétique des formations paléozoïques constituant le massif de Tazekka (d'après Chakir 1983)

### 3. Matériel et méthodes

Une nouvelle mission de terrain, organisée par les collègues de l'Université d'Oujda (Faculté Pluridisciplinaire de Nador) et de l'Université de Fez (Faculté Multidisciplinaire de Taza), a permis un nouvel échantillonnage en juin 2019. Un total de 16 échantillons a été prélevé à partir de trois points différents dans le domaine oriental (Schiste de Tazekka) et centrale (Unité de Bab Azhar) du massif de Tazekka. En détail (Fig. 5), cinq échantillons (TZK-19-1 à TZK-19-5) ont été levés en face du village Dr Kassioua, de l'autre côté du Wad Lahmar; les échantillons TZK-19-6 à TZK-19-8 proviennent de collines en face (au Nord) du village de Beni Mkoud, de l'autre côté (au Nord) du Wad Lahmar; l'échantillon TZK-19-9 provient du sentier entre le Wad Lahmar et le village de Beni Mkoud, au Sud du Wad ; les échantillons : TZK-19-10 à TZK-19-16 ont été levés dans une zone qui se trouve à plus ou moins 4 km à l'Est de Zerarda, dans la vallée du Wed Bou Khaled.

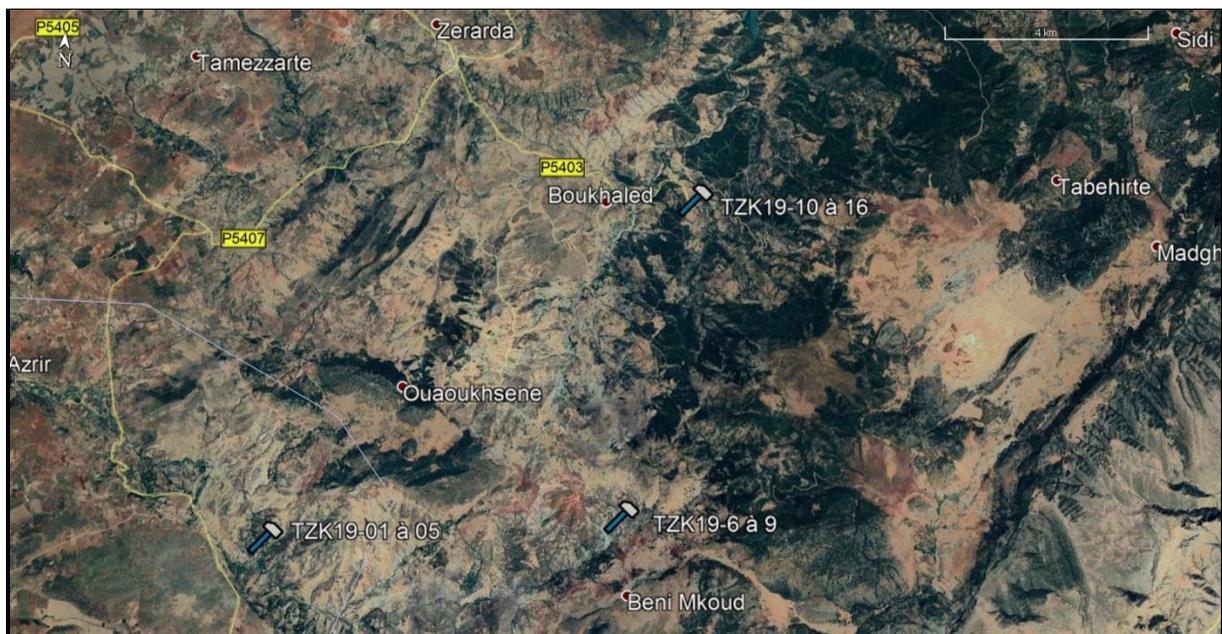


Fig. 5. Positions des coupes et échantillons analysés

Tous les échantillons ont été traités dans le laboratoire de palynologie, UMR 8198 Evo-Eco-Paléo de l'Université de Lille. Il s'agit de traitement palynologique standard, avec des attaques à l'acide chlorhydrique (10%) puis à l'acide fluorhydrique (60%) pour éliminer la matière minérale, avec plusieurs séries de lavage à l'eau distillée. Le résidu organique est filtré à 50  $\mu\text{m}$  (pour la recherche de chitinozoaires) et à 15  $\mu\text{m}$  pour les acritarches. Les lames réalisées sont stockées dans les collections du laboratoire UMR 8198 Evo-Eco-Paléo de l'Université de Lille. Dans ce travail, nous décrivons les acritarches recoltés.

#### 4. Paléontologie systématique – Taxonomie

Groupe Acritarcha Evitt 1963

Genre *Arbusculidium* Deunff 1968

Espèce type. *Arbusculidium destombesii* Deunff 1968

*Arbusculidium filamentosum* (Vavrdová 1965) Vavrdová 1972 emend. Fatka et Brocke 1999

(Planche I, figs. E, F)

1965 *Dasydiacrodium filamentosum* Vavrdová, pp. 355–356, pl. 3, fig. 3; pl. 4, fig. 1, text-fig. 4a–c.

1972 *Arbusculidium filamentosum* Vavrdová, p. 81, pl. 1, fig. 3.

1999 *Arbusculidium filamentosum* Fatka et Brocke, pp. 163–166, pl. 1, figs. 1–5, 7, 9, pl. 2, figs. 1–9, pl. 3, figs. 1–10, text-fig. 8:1–12.

*Description.* Corps central de contour ellipsoïdal à sub-rectangulaire, bipolaire, orné de stries, au nombre de 4 à 7. Les deux pôles portent deux types différents de processus (appendices): un pôle porte au moins deux processus (difficile à évaluer vu que la plupart de nos spécimens sont tronqués) à base large, simples, creux, avec des cavités internes communiquant avec la cavité vésiculaire. Un deuxième pôle présente un ensemble de processus ramifiés et anastomosés formant une structure en forme de filet. Ces processus paraissent pleins, sans communication avec la cavité interne.

*Dimensions.* Longueur, 40-48 $\mu$ m ; largeur (au centre de la vésicule), 22-30  $\mu$ m ; longueur appendices, 22-33  $\mu$ m.

*Occurrence.* TZK 19-01, TZK 19-02, TZK 19-03, TZK 19-11, TZK 19-13, TZK 19-15.

*Enregistrements précédents.* Arénig–Llanvirn: Chine du Sud (Li 1987; Yin 1995; Tongiorgi et al. 2003), Maroc (Cramer et al. 1974). Arénig moyen: Argentine (Rubinstein et Toro 2001), Iran (Ghavidel-syooki 2006). Arénig supérieur : Algérie (Vecoli 1999).

## Genre *Arkonia* Burmann 1970

Espèce type. *Arkonia virgata* Burmann 1970

*Discussion.* Le genre *Arkonia* Burmann 1970 a été révisé par Servais (1997); il a proposé de garder les deux genres, très proches, *Arkonia* et *Striatotheca* séparés. Ces deux genres ont été considérés par certains auteurs (ex. Cramer et al. 1974, Eisenack et al. 1976), comme synonymes. Les deux genres présentent une membrane externe ornée de stries. *Arkonia* Burmann 1970 peut être distingué par sa forme triangulaire, au moment où *Striatotheca* Burmann 1970 est reconnu par une coque à contour quadratique-rectangulaire. Dans ce travail, nous suivons la révision de Servais (1997).

### *Arkonia tenuata* Burmann 1970

Planche. II, fig. K

1970 *Arkonia tenuata*; Burmann, p. 299; pl. 7, figs. 2, 4.

*Remarque.* *Arkonia tenuata* Burmann 1970 est reconnue parmi les autres espèces d'*Arkonia* par son ornementation en rides fines, au nombre de plus ou moins 12.

*Dimension.* Basée sur sept (7) spécimens ; coque de diamètre entre 35 et 45µm.

*Occurrences.* TZK 19-01, TZK 19-02, TZK 19-10, TZK 19-11, TZK 19-13

*Enregistrements précédents.* Llanvirn Llanvirn supérieur: Allemagne de l'Est (Burmann 1970); Llanvirn inférieur: République Tchèque (Vavrdová 1977), Allemagne de l'Ouest (Maletz et Servais 1993); Arénig supérieur: Belgique (Martin et Rickards 1979), République Tchèque (Vavrdová 1990); Ordovicien Moyen: Belgique (Vanguetaine et Wauthoz 2011)

### *Arkonia* cf. *virgata* Burmann 1970

Planche I, fig. J

1970 *Arkonia virgata* Burmann, p. 298; pl. 7, fig. 6

*Arkonia virgata* Burmann 1970 peut être distingué par rapport aux autres espèces d'*Arkonia* par son ornementation caractérisée par des rides épaisses au nombre de plus ou moins sept.

Pour notre spécimen, les rides ne sont pas aussi accentuées, mais elles sont toujours au nombre de sept, ce qui nous a poussé à le classer, avec prudence, avec *Arkonio virgata*.

*Dimensions*. Basée sur un seul spécimen ; 35 µm.

*Occurrences*. TZK 19-10.

*Enregistrements précédents*. Llanvirn inférieur: Allemagne de l'Ouest (Servais et Maletz, 1992), Belgique (Servais 1991), République Tchèque (Vavrdová 1990); Angleterre (Cooper et Molyneux 1990); Portugal (Arriagha e Cunha et Vanguestaine 1988), Arénig supérieur: Belgique (Vanguestaine 2008), Arénig : Angleterre (Molyneux 2009).

Genre *Aureotesta* Vavrdová 1972 emend. Brocke et al. 1998

Espèce type. *Aureotesta clathrata* Vavrdová 1972

*Aureotesta clathrata* var. *simplex* (Cramer et al. 1974) Brocke et al. 1998

Planche I, figs. B, I)

1974 *Marrocanium simplex* Cramer et al, p. 57-59, pl. 26, figs. 1-9.

1998 *Aureotesta clathrata* var. *simplex* (Cramer et al., 1974b) emend. Brocke et al., pp. 11–12, 14, pl. 2, figs. C-G, J, K.

*Description*: Vésicule à contour plus ou moins rectangulaire. Chaque coin porte un processus creux, dont la cavité interne communique librement avec l'intérieure de la vésicule. Une fine bande transparente s'étend entre les bases des processus et sur la vésicule.

*Dimensions*. Diamètre de la coque entre 29 et 31 µm (4 spécimens) ; longueur des processus entre 25 et 30 µm.

*Occurrences*: TZK 19-01, TZK 19-02, TZK 19-03, TZK 19-10,

*Enregistrements précédents*: Arénig : Grande Bretagne (Molyneux 1990); Terre-Neuve, Canada (Dean et Martin 1978); Chine du Sud (Brocke et al. 2000); Argentine (Ottone et al. 1992, Rubinstein et al. 1999, Rubinstein et Toro 2001); Bohême (Vavrdová 1990); Pakistan (Quintavalle et al. 2000); Sardaigne (Albani 1989); Iran (Ghavidel-syooki 1996);

Arénig - Llanvirn: Maroc (Cramer et al. 1974); Bohême (Vavrdová 1977, 1986), Belgique (Servais 1991). Llanvirn: Belgique (Servais et Maletz 1992); Trémadocien supérieur?-Floian: Colombie (Rubinstein et al. 2019).

Genus *Barakella* Cramer et Diez 1977

Espèce type. *Barakella fortunata* Cramer et Diez 1977

*Barakella fortunata* Cramer & Diez 1977

Planche II, figs. E, H, I, J

1977 *Barakella fortunata* Cramer et Diez, p. 345, pl. 5, figs 3, 12, text-fig. 3: 23

*Description.* Coque à contour rectangulaire, avec quatre processus (dans les quatre coins de la coque) allongés qui communiquent librement avec la cavité centrale. Le corps central présente entre 10 et 14 stries longitudinales. Un court réseau anastomosé est situé dans l'un des pôles de la vésicule, entre les deux processus.

*Dimensions.* Basée sur sept (7) spécimens : Longueur de la vésicule 24 à 36  $\mu\text{m}$  ; largeur entre 18 et 24  $\mu\text{m}$  ; longueur des processus 16 à 20  $\mu\text{m}$ .

*Occurrences.* TZK 19-01, TZK 19-02, TZK 19-11, TZK 19-13 (un seul spécimen).

*Enregistrements précédents;* Arénig supérieur: Maroc (Cramer et Diez 1977), Tunisie (Vecoli 1999; Vecoli et Le Hérissé 2004), Llanvirn: Algérie (Vecoli 1999; Vecoli et Le Hérissé 2004), Caradocien à Ashgillien inférieur: Jordanie (Keegan et al. 1990), Llandeilien: Sud des Pays de Galles (Turner 1985), Llandeilien –Caradocien inférieur: Nord du Pays de Galles (Trythall et al. 1987), Llanvirn: Région de Qasim en Arabie Saudite (Le Hérissé et al. 2007).

Genre *Comasphaeridium* Staplin, Jansonius et Pocock, 1965

*emend* Sarjeant et Stancliffe 1994

Espèce type. *Comasphaeridium cometes* (Valensi 1948, p. 547, figs. 5, 6) Staplin, Jansonius et Pocock, 1965, p. 192, text-fig. 2b

*Comasphaeridium tonsum* Cramer et Diez, 1977

Planche II, fig. D

1977 *Comasphaeridium tonsum* Cramer et Diez, Pl. 2, figs 1-6; text-fig. 3: 8

*Description.* Coque à paroi mince et à contour sphérique à subsphérique, limitée à la périphérie par une zone sombre, sous forme d'anneau, avec de nombreux processus courts, très fins et effilés.

*Dimensions.* Trois spécimens. Diamètre de la coque; 16  $\mu\text{m}$ , longueur des processus ; 1,5  $\mu\text{m}$

*Occurrences.* TZK19-01, TZK19-02, TZK19-11

*Enregistrements précédents;* Arénig supérieur: Maroc, (Cramer et al. 1977), Llanvirn: Chine (Fang 1986), Trémadocien supérieur (terminal) - Arénig inférieur : République Tchèque (Fatka 1992, 1993), Arénig supérieur – Llanvirn inférieur : République Tchèque (Fatka 2003, Kraft et al. 2003).

*Comasphaeridium cf. pratulum* Cramer et Diez 1977

Planche II, fig. L

Remarque, *C. cf. pratulum* se différencie de *C. tonsum* par ses processus, plus denses, plus ou moins larges à la base, et un peu plus longs.

*Dimensions.* Basée sur deux (2) spécimens : diamètre de la coque 20 à 22,5  $\mu\text{m}$  ; longueur des processus 3 à 3,5  $\mu\text{m}$ .

*Occurrences.* TZK19-02

*Enregistrements précédents;* Arénig supérieur: Maroc (Cramer et Diez 1977), Tchécoslovaquie (Vavrdová 1990), Arénig : Chine (Fang 1986), Jordanie (Basha 1987).

Genre *Coryphidium* Vavrdová 1972 emend. Servais et al. 2008

Espèce type. *Coryphidium bohemicum* Vavrdová 1972 emend. Servais et al. 2008

*Discussion:* Le genre *Coryphidium* a été décrit pour la première fois par Vavrdová (1972), puis il a été révisé par Servais et al. (2008), qui ont validé neuf espèces parmi celles qui existaient dans la littérature. *Coryphidium* est un très bon indicateur de la province perigondwanienne.

*Coryphidium bohemicum* Vavrdová 1972 emend. Servais et al. 2008

Planche II, fig. C, planche III, figs. D, L

1972 *Coryphidium bohemicum* Vavrdová, p. 84–85, text-fig. 4, pl. 1, figs. 1 et 2.

*Description:* coque à contour quadratique à rectangulaire, avec des bords arrondis. Nos spécimens présentent des cotés concaves rarement droit ou convexes. La paroi de la vésicule est ornée de nervures (stries), approximativement parallèles aux bords. La vésicule porte de nombreux processus hétéromorphes qui sont distribués symétriquement sur la coque, mais plus concentrés sur les coins pour les spécimens qui présentent une concavité prononcée. Les processus sont coniques ou cylindriques, avec des terminaisons simples, tronquées, ou bifurquées.

*Dimensions.* Mesures prises sur 4 spécimens ; diamètre de la coque entre 25 et 28  $\mu\text{m}$

*Occurrence.* TZK 19-01, TZK 19-02, TZK 19-03, ? TZK 19-11, TZK 19-12, TZK 19-13, TZK 19-15.

*Enregistrements précédents.* Arénig : France (Fournier-Vinas et Donnot 1977); Irlande (Connery et Higgs 1999); Sardaigne (Albani 1989); Canada (Terre-Neuve) (Dean et Martin 1978); Argentine (Rubinstein et Toro 2001); Pakistan (Tongiorgi et al. 1994; Quintavalle et al. 2000); Arénig –Llanvirn: Grande Bretagne (Turner et Wadge 1979; Cooper et al. 1995; Molyneux et Leader 1997); Iran (Ghavidel-syooki 1996), Chine du Sud (Yin 1995; Brocke et al. 2000; Tongiorgi et al. 2003); Maroc (Cramer et al. 1974; Marhoumi et al. 1982); Bohême

(Vavrdová 1972, 1976, 1977); France (Rauscher 1974). Llanvirn: Tunisie (Vecoli 1999);  
Allemagne (Maletz et Servais 1993).

*Dicrodiacrodium* Burmann 1968

Espèce type. *Dicrodiacrodium ancoriforme* Burmann 1968

*Dicrodiacrodium ancoriforme* Burmann 1968 emend. Servais, Brocke et Fatka 1996,

Planche IV, figs. A, I

1968 *Dicrodiacrodium ancoriforme* Burmann, p.643, pl. 3, fig. 1; pl. 7, fig. 2a-c

1968 *Dicrodiacrodium ancoriforme* var. *minutum* Burmann, p. 644, pl. 5, fig. 5.

1968 *Dicrodiacrodium normale* Burmann, p. 644, pl. 3, fig. 2.

1968 *Dicrodiacrodium normale* var. *doliiforme* Burmann, p. 645, pl. 3, figs. 5-6.

1968 *Dicrodiacrodium normale* var. *longiusculum* Burmann, p. 645, pl. 7, fig.1a-c.

1968 *Dicrodiacrodium normale* var. *cylindricum* Burmann, p. 645, pl. 3, fig. 3-4, pl. 7, fig.  
3.

1976 *Dicrodiacrodium ancoriforme* var. *minuta* n. var. Burmann, table1: 27.

1996 *Dicrodiacrodium ancoriforme* Burmann emend. Servais, Brocke et Fatka, pp. 392-402;  
pl. 1, figs. 1-9, text-fig. 1

Remarque. *Dicrodiacrodium ancoriforme* est facilement reconnaissable par sa coque caractéristique avec un processus apicale unique. Servais et al. (1996), suite à une étude biométrique, ont montré que toutes les espèces et les variétés du genre *Dicrodiacrodium* présentent une continuité morphologique, et qu'il est difficile de tracer une limite entre les espèces (ou les variétés). Par conséquent, la division du genre *Dicrodiacrodium* en deux espèces et en six variétés n'est pas justifiable. En fait le genre *Dicrodiacrodium* est représenté par une seule espèce: *Dicrodiacrodium ancoriforme*.

*Dimensions.* Basée sur deux spécimens ; longueur : 34, 40 µm ; largeur : 20, 25 µm longueur processus 20 µm.

*Occurrence.* Seulement deux spécimens ont été trouvés dans la lame: TZK 19-01

*Enregistrements précédents.* *Dicrodiacrodium* a été décrit pour la première fois dans le Llanvirn de l'Allemagne par Burmann (1968). Servais et al. (1996) considèrent ce genre comme indicateur de l'intervalle Arénig supérieur - Llanvirn. D'autre part, *Dicrodiacrodium* a été signalé dans des niveaux sans repère d'âge. Pour plus de détail sur les occurrences de ce genre, nous invitons le lecteur à consulter les travaux de Servais et al. (1996) et Servais et al. (2018).

#### Genre *Ordovicidium* Tappan et Loeblich 1971

Espèce type: *Ordovicidium elegantulum* Tappan et Loeblich 1971

*Discussion.* Le genre *Ordovicidium* peut être distingué par sa forme sphérique, avec des processus bifurqués à multifurqués, creux, mais leurs cavités internes ne communiquent pas avec celle de la vésicule. *Ordovicidium* ressemble aux deux genres voisins *Baltisphaeridium* Eisenack 1958 et *Multiplicisphaeridium* Staplin 1961. Il se différencie du premier par le fait que *Baltisphaeridium* est caractérisé par des processus à extrémités simples; *Multiplicisphaeridium* est marqué par des processus à extrémités branchues : dans les deux cas, les cavités internes des processus communiquent librement avec celle de la vésicule.

#### *Ordovicidium* cf. *elegantulum* Tappan et Loeblich 1971

Planche. VI, fig. A

1971: *Ordovicidium elegantulum* Tappan et Loeblich, pp. 398, 400, pl. 7, figs. 1-7

*Description.* Coque sphérique, avec des processus creux qui ne communiquent pas avec la cavité interne. Les processus ont une forme plus ou moins cylindrique. Ils sont caractérisés par une terminaison bifurqué ou trifurqué.

*Dimensions.* Mesures effectuées sur quatre (4) spécimens ; diamètre de la vésicule : 27 à 34 µm, longueur des processus : 10 à 15µm.

*Occurrences.* TZK19-01, TZK19-02

*Enregistrements précédents.* Caradocien - Ashgillien: Arabie Saoudite (Jachowicz, 1995), Llandeilien - Caradocien: Oklahoma, USA (Tappan et Loeblich 1971); Caradocien : Indiana (Colbath 1979); Gotland (Górka 1987); Angleterre (Turner 1984), Canada (Martin 1983), NW China (Li et al. 2007), Ordovicien Moyen à Supérieur: Estonie (Uutela et Tynni 1991); Ashgillien: République Tchèque (Vavrdová 1988); Ordovicien Moyen: Suède (Gorka, 1987), Ordovicien Supérieur: Canada (Martin,1980)

*Orthosphaeridium* Eisenack 1968 emend. Navidi-Izad et al. 2020

*Espèce type: Orthosphaeridium rectangulare* (Eisenack 1963) Eisenack 1968

*Discussion.* Après sa création par Eisenack (1968), le genre *Orthosphaeridium* a fait l'objet de deux travaux de révision; par Turner (1984) et plus récemment par Navidi-Izad et al. (2020). Ce genre peut être distingué des deux genres voisins *Baltisphaeridium* et *Multiplicisphaeridium* par ses processus simples (sans bifurcation), creux, séparés de la cavité centrale de la vésicule par une sorte de 'bouchon' qui empêche la communication entre la cavité interne des processus et celle du corps central.

Cette dernière révision de Navidi-Izad et al. (2020), que nous suivons dans ce travail, a validé quatre espèces pour le genre *Orthosphaeridium*, à savoir: *O. bispinosum* avec deux processus, *O. ternatum* avec trois processus, *O. rectangulare* avec quatre processus et enfin, *O. octospinosum* caractérisé par plus ou moins huit processus, et qui peut atteindre jusqu'à 12 processus.

*Orthosphaeridium octospinosum* Eisenack 1968

Planche. VI, fig. K

1968 *Orthosphaeridium octospinosum* Eisenack, p. 92, pl. 25. figs. 2–3.

1970 *Orthosphaeridium insculptum* Loeblich, p. 734–735, fig. 30 A–E.

1971 *Orthosphaeridium densigranosum* Kjellström, p. 28–30, fig. 19.

1971 *Orthosphaeridium densiverrucosum* Kjellström, p. 30, fig. 20.

1991 *Orthosphaeridium insculptum* f. *erectum* Uutela et Tynni, p. 103, pl. XXVI : 276, fig. 4: 140

*Description.* Plusieurs taxons, qui présentent les mêmes caractères morphologiques que *Orthosphaeridium octospinosum* ont été créés par différents auteurs (voire liste synonymie en haut). Navidi-Izad et al. (2020) ont montré qu'il s'agit en réalité de la même espèce, avec des variations dans l'ornementation ou dans la taille de la vésicule.

*Dimensions.* Spécimens en fragments ; évaluation des dimensions difficile.

*Occurrences.* TZK 19-01

*Enregistrements précédents.* Ordovicien Supérieur (Ashgillien): U.S.A. (Loeblich 1970); Ordovicien Moyen: Suède (Gorka 1987, Kjellström 1971); Ashgillien: Maroc (Elaouad–Debbaj 1988), Portugal (Elaouad–Debbaj 1978), Turquie (Dean et Martin 1992); Arénig : Autriche (Reitz et Höll 1992); Caradocien – Ashgillien: Iran (Ghavidel–syooki et Khosravi 1995, Ghavidel syooki 2001, 2003); Caradocien: Canada (Martin 1983); Hirnantien, Arabie Saoudite (Miller et Al–Ruwaili 2007).

Genre *Sylvanidium* Loeblich 1970

Espèce type. *Sylvanidium paucibrachium* Loeblich 1970, p. 737, Figs. 32A–F

*Sylvanidium operculatum* Vavrdová 1978

Pl. IX, fig. G

1978 *Sylvanidium operculatum* n. sp. in Vavrdová, p. 68; pl. 11, fig. 4; pl. 12, figs 1-2; pl. 14, fig. 9; text-figs.2t-v

*Description.* *Sylvanidium operculatum* est aisément reconnu par sa forme de contour ovoïde, à paroi simple, avec deux processus simples, homomorphes, longs, effilés aux extrémités distales, avec une cavité interne qui communique librement avec la cavité interne de la vésicule. *Sylvanidium operculatum* est caractérisé par son ouverture allongée caractéristique. Dimensions. Basée sur deux spécimens : longueur : 11, 15 µm, largeur : 8 à 8,5 µm, longueur des processus : 17 à 25 µm.

*Occurrences.* TZK19-01, TZK19-02, TZK19-12?, TZK19-15

*Enregistrements précédents.* Llanvirn inférieur : Bohème (Vavrdová 1978), Tchécoslovaquie (Vavrdová 1982, 1990). *Sylvanidium operculatum* a été enregistré aussi dans le Trémadocien du NW de l'Angleterre (Molyneux 2009) ; dans l'Arénig supérieur en Belgique (Vanguetaine 2008) et l'Ordovicien Supérieur (Hirnantien) en Arabie Saoudite (Miller et Ali-Ruwaili 2007), mais l'affiliation des espèces enregistrées par ces auteurs à *Sylvanidium operculatum* n'est pas certaine.

Genre *Acanthodiacrodium* Timofeev 1958 emend. Deflandre et Deflandre-Rigaud 1962  
espèce type: *Acanthodiacrodium dentiferum* Timofeev 1958

*Discussion.* Le genre *Acanthodiacrodium* Timofeev 1958 emend. Deflandre et Deflandre-Rigaud 1962 comporte dans la littérature actuelle plus de 190 espèces. Ceci rend l'identification au niveau spécifique un peu difficile, surtout quand il s'agit de matériel mal préservé. *Acanthodiacrodium* reste jusqu'à nos jours sujet de discussions entre les spécialistes (Loeblich et Tappan 1978, Martin in Martin et Dean 1988, Servais et Molyneux 1997, Vecoli 1999). C'est un genre qui nécessite une attention particulière, parce qu'on pense que certaines espèces peuvent être synonymes.

## 5. Implication stratigraphique de quelques acritarches sélectionnés

La stratigraphie du Paléozoïque inférieur, et plus précisément celle de l'Ordovicien, est basée historiquement sur des groupes comme les graptolites et les conodontes. Les chitinozoaires viennent un peu plus tard pour rejoindre ces deux derniers groupes pour des biozonations et des corrélations internationales. Les acritarches, en tant que groupe relativement jeune, commencent à prendre leur place. Ils représentent un des groupes les plus résistants et les plus présents dans les séries paléozoïques, spécialement du Paléozoïque inférieur. D'ailleurs, on peut les trouver dans presque tous les environnements. Ces deux critères ont permis aux acritarches d'apporter des résultats, là où les autres groupes ont échoué. Le potentiel stratigraphique des différents taxons d'acritarches dans l'Ordovicien a été soulevé par plusieurs études (ex. Li et al. 2002, 2003, 2010, Molyneux et al. 2007, Servais et al. 2018). Le potentiel biostratigraphique des acritarches est basé essentiellement sur "les premières apparitions" (*first appearance datum*, FAD) de certains taxons (Servais et al. 2018).

Dans les paragraphes suivants, on va montrer les répartitions stratigraphiques de certains taxons d'acritarches rencontrés dans notre matériel, pour pouvoir tirer une conclusion sur l'âge des séries étudiées.

### *Arbusculidium filamentosum*

*Arbusculidium filamentosum* représente un des taxons caractéristiques des provinces périgondwaniennes. Il marque sa première apparition au Floien moyen autour du Gondwana (Servais et al. 2018). En Avalonie, *Arbusculidium filamentosum* apparaît à la base du niveau 2b du Floien (Molyneux et al. 2007). En Chine du Sud, *A. filamentosum* apparaît un peu plus tard, dans la partie supérieure du niveau 2b (Yan et al. 2011, 2013).

### *Aureotesa clathrata* var. *simplex*

*Aureotesa clathrata* var. *simplex* a été enregistrée pour la première fois au Maroc (Cramer et al. 1974) dans un niveau attribué au Darriwilien inférieur.

La première apparition de *Aureotesa clathrata simplex* est enregistrée à la base du Floien dans le NW de l'Angleterre (Avalonia) (Molyneux et al. 2007) et dans le Sud de la Chine (Yan et al. 2011, 2013). En Argentine (l'Est du Gondwana) *A. clathrata simplex*

apparaît un peu tard dans la zone à graptolites *Baltograptus deflexus*, ce qui correspond au Floien moyen (Fl2) (Rubinstein et al. 2007, de la Puente et Rubinstein 2013).

### *Coryphidium*

L'implication biostratigraphique des espèces du genre *Coryphidium* a été discutée en détail par Servais et al. (2008).

Le genre *Coryphidium* a longtemps été considéré comme un genre typique de l'Arénig - Llanvirn. Cela est dû au fait que la plupart des occurrences disponibles proviennent de cet intervalle de temps : Chine, Argentine et les parties Sud de l'Europe et du Nord de l'Afrique de la marge peri-gondwanienne (Servais et al. 2008). Mais, la première apparition du genre remonte au Trémadocien terminal (Servais et al. 2018).

Dans l'Afrique du Nord, *Coryphidium* est enregistré dans la région de Hassi R'Mel en Algérie (Vecoli 1999) et dans le Bassin de Ghadames en Lybie (Vecoli et Quintavalle, non publié, *in* Servais et al. 2008) ; il s'agit ici des niveaux attribués à l'Arénig supérieur, datés par chitinozoaires.

### *Ordovicidium cf. elegantulum*

Le nom du genre *Ordovicidium* est dérivé du nom Ordovicien, où il est répandu essentiellement dans l'Ordovicien Moyen et Supérieur.

*Ordovicidium elegantulum* a été défini pour la première fois par Tappan et Loeblich, 1971 dans des terrains attribués au Llandeilien-Caradocien USA (Oklahoma). Après Tappan et Loeblich, toutes les occurrences de cette espèce ont été enregistrées entre l'Ordovicien Moyen et Supérieur, jamais avant cette période.

### *Orthosphaeridium*

Le genre *Orthosphaeridium* est un taxon caractéristique de l'Ordovicien. Il marque exclusivement l'Ordovicien Moyen-Supérieur. Dans sa révision récente, Navidi-Izad et al. (2020) ont montré que le genre *Orthosphaeridium* marque sa première apparition à la base de l'Ordovicien Moyen au Dapingien inférieur, en Chine du Sud. *Orthosphaeridium* marque sa disparition à la fin de l'Ordovicien (limite Ordovicien-Silurien) ; aucun enregistrement de ce genre n'a été signalé après cette époque.

Vecoli et Le Hérissé (2004), dans leur examen de la distribution des acritarches des provinces nord-Gondwaniennes, ont noté que la distribution de *Orthosphaeridium* est limitée à l'Ordovicien Supérieur dans ces régions.

### *Striatotheca*

Les deux genres voisins *Arkonia* Burmann 1970 et *Striatotheca* Burmann 1970 ont fait l'objet d'une révision taxonomique par Servais (1997). *Striatotheca* fait sa première apparition (Servais et al. 2018) au Trémadocien supérieur (base du Tr3) au Gondwana (Maroc : Nowak et al. 2016) et en Avalonia (NW de l'Angleterre : Molyneux et al. 2007).

### *Données antérieures et discussion*

Les terrains étudiés dans ce travail sont représentés par la Formation des Schistes de Tazekka dans le domaine oriental, suivie par l'Unité de Bab Azhar du domaine intermédiaire.

Les échantillons analysés de la Formation des Schistes de Tazekka n'ont livré aucun palynomorphe qui peut nous aider à apporter des précisions sur l'âge de cette formation. Ces schistes de couleur vert-olive ont été considérés d'âge Carbonifère suite à la découverte de plantes au nord du massif par Morin (1948) (Hoepffner 1987), comparés aux schistes de Debdou-Mekam attribués au Tournaisien-Viséen inférieur par Medioni (1967) ; datation qui a été rectifiée par Marhoumi (1984), qui a attribué ces derniers au Dévonien.

Par ailleurs, les travaux de Rauscher et al. (1982) et Marhoumi et al (1982), et grâce à la découverte d'acritarches, ont pu attribuer un âge Ordovicien Inférieur (Arénig-Llanvirn) aux Schistes de Tazekka.

D'autre part, Hoepffner (1987), par analogie de faciès avec les séries du domaine occidental, a proposé un âge Ordovicien à l'unité de Bab Azhar (domaine intermédiaire). L'interprétation de Hoepffner a été confirmée par Chakir (1983), suite à une étude des associations d'acritarches livrées par des échantillons prélevés dans la partie -plus ou moins- inférieure de l'unité de Bab Azhar. L'association d'acritarches découverte par Chakir (1983) indique, sans doute, un âge Ordovicien pour cette série. La majorité des taxons rencontrés représente l'Arénig –Llanvirn (Chakir 1983), sans pouvoir apporter plus de précisions.

Depuis ce temps, beaucoup de progrès ont été apportés à l'étude des acritarches, notamment les révisions taxonomiques pointues, qui ont ajouté plus de précisions non seulement sur la classification, mais aussi sur la signification stratigraphique,

paléogéographique et environnementale des taxons révisés. Ajouté à cela, l'accent a été mis sur l'importance des premières apparitions de certains taxons (FAD) (ex. Servais et al. 2018) pour la datation des séries géologiques.

Les assemblages d'acritarches identifiés dans notre travail sont typiquement, et sans doute, d'âge Ordovicien. La présence du genre *Orthosphaeridium* Eisenack 1968, qui a fait sa première apparition à la base de l'Ordovicien Moyen nous permet dès lors d'attribuer un âge, au moins, Ordovicien Moyen des niveaux étudiés de l'unité de Bab Azhar. Cette attribution est appuyée par la présence d'autres genres caractéristiques de l'Ordovicien Moyen-Supérieur, comme *Ordovicidium* Tappan et Loeblich 1971.

Baudelot et al. (1990) ont fait des analyses palynologiques d'échantillons provenant de différentes boutonnières dans le Moyen Atlas (y compris le massif de Tazekka). Les échantillons analysés du massif de Tazekka proviennent de la partie supérieure de l'Unité de Bab Azhar. Ces échantillons ont livré des acritarches qui témoignent un âge Ordovicien Supérieur (Caradocien) des niveaux analysés.

La synthèse des résultats précédents peut être résumée comme suit :

Les deux domaines oriental et centrale présentent des niveaux continus où la grande partie de l'Ordovicien serait représentée (au moins jusqu'au Caradocien inclus). De bas en haut, la succession est la suivante (Fig. 6);

-En domaine orientale ; les Schistes de Tazekka ont été datés Arénig –Llanvirn (Rauscher et al. 1982, Marhoumi et al. 1982).

-En domaine intermédiaire, les Schistes de l'unité de Bab Ahar font suite au Schistes de Tazekka. La partie inférieure de cette unité a été attribué à l'Arénig –Llanvirn par Chakir (1983), sans pouvoir apporter plus de précisions.

Nos échantillons qui ont été prélevés à l'Ouest par rapport au matériel de Chakir (1983), viennent au-dessus de ces derniers et au-dessous des niveaux analysés par Baudelot et al. (1990), datés comme Caradocien. Cet âge a été attribuée suite à la découverte des chitinozoaires *Lagenochitina deunffi* et *Linochitina pissotensis*, associées à l'acritarche *Villosacapsula setosapellicula*. *Lagenochitina deunffi* est enregistrée durant l'intervalle Darriwilien - Sandbien (ce qui correspond au Llanvirn - Caradocien) dans la marge du continent Gondwana. La deuxième espèce est *Linochitina pissotensis*, enregistrée essentiellement au Darriwilien. *Villosacapsula setosapellicula* marque la fin de l'Ordovicien Moyen et l'Ordovicien Supérieur.

Ces données montrent que les niveaux analysés par Baudelot et al. (1990) pourraient être d'un âge Sandbien, sans exclure le Darriwilien. Ceci nous permet de limiter l'âge des niveaux étudiés dans ce travail au Darriwilien.

D'autre part, et dans la partie occidentale du massif de Tazekka (domaine occidentale), Hoepffner (1977) a découvert un gisement de graptolites, qui lui a permis de dater le sommet de la Formation de Bou Chfaa (la base de la série). Il s'agit de la base du Llanvirn, indiqué par la présence de *Corymbograptus retroflexus*. Cette formation est séparée de l'unité de Bab Azhar par un contact tectonique. La relation entre ces deux dernières n'est pas aussi claire. Hoepffner (1987) pense qu'au moins une partie des schistes de l'unité de Bab Azhar peut être l'équivalent de la Formation de Bou Chfaa. Les datations effectuées par les différents auteurs qui ont travaillé sur la région, ainsi que par le présent travail nous mènent à suivre l'interprétation de Hoepffner (1987) et dire que les formations ordoviciennes du domaine occidental peuvent présenter l'équivalent latéral des Schistes de Tazekka et l'Unité de Bab Azhar du domaine oriental et central.

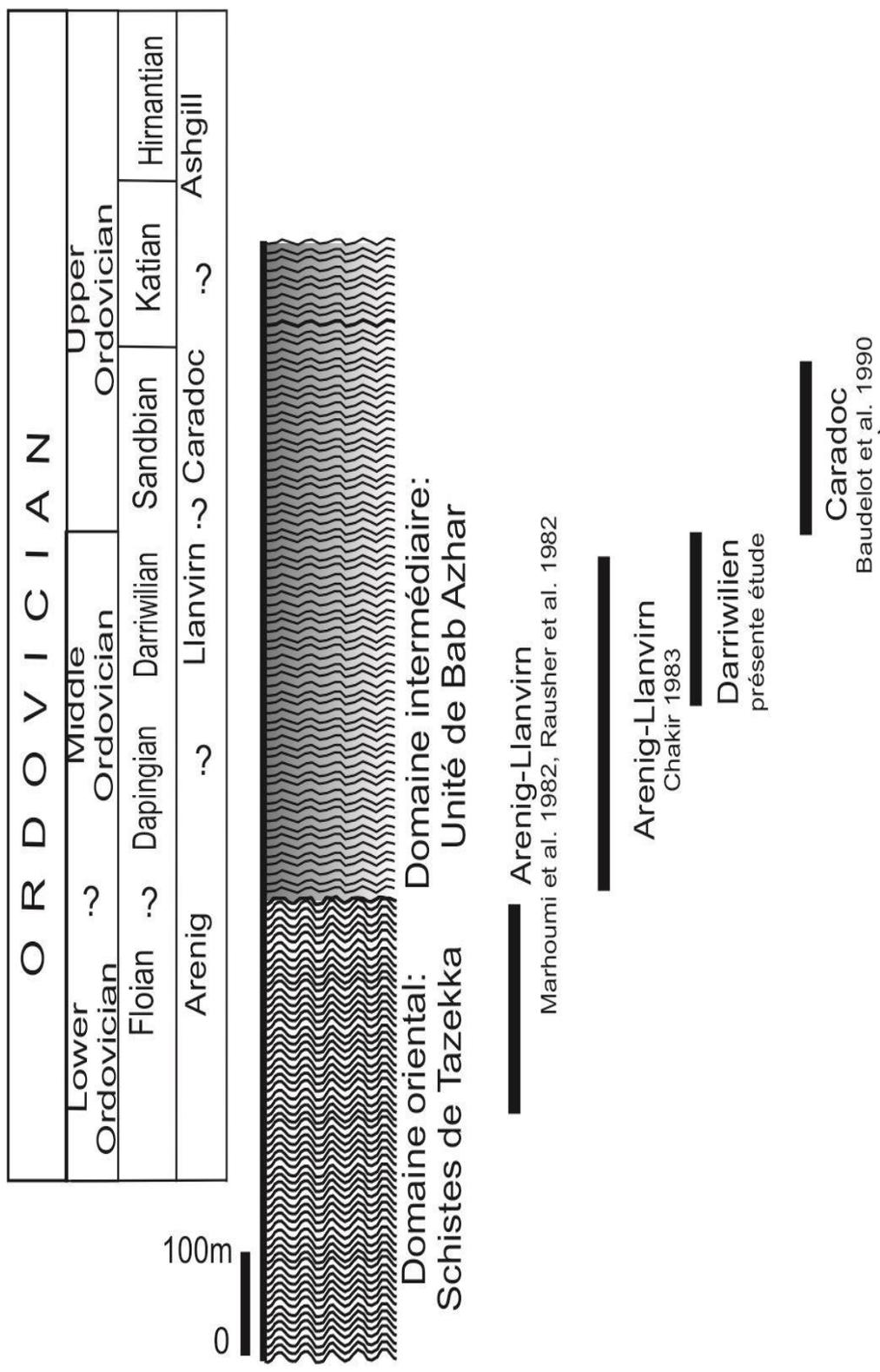


Fig. 6. Synthèse sur la stratigraphie des formations des domaines oriental et intermédiaire

## 6. Implication paléo-environnementale

Les premières études sur l'application des acritarches pour les reconstitutions paléo-environnementales commencent au début des années 1960 (ex. Staplin, 1961), et se poursuivent jusqu'à nos jours (par ex. Jacobson 1979; Dorning 1981; Wicander et Wood 1997; Vecoli 2000, 2004; Tongiorgi et al. 2003; Li et al. 2004; Stricanne et al. 2004; Molyneux 2009; Lei et al. 2012; Yan et al. 2013). Ces études ont essayé de mettre l'accent sur la relation entre les variations dans la morphologie des acritarches et les différents facteurs environnementaux. Servais et al. (2004) ont étudié la variation des formes des acritarches galéates (acritarches de contour hémisphérique, avec une grande ouverture polaire, obturé par un opercule, *Cymatiogalea*, *Priscogalea*, *Stelliferidium* et *Caldariola*). Cette étude a montré que la longueur des processus a diminué de bas en haut dans le sondage objet de cette étude. Cette diminution évolue en parallèle avec l'approfondissement du milieu (interprétation basée sur des paramètres sédimentologiques) ; processus plus long, ramification plus complexe dans les environnements distaux, que dans les environnements proximaux. D'autre part, des études sur des dinoflagellés modernes (ex. Wall et al. 1973; Nehring 1994; Ellegaard 2000) montrent que la longueur des processus, au moins pour certains groupes de dinoflagellés, évolue en parallèle avec l'augmentation du taux de salinité des eaux. Cette interprétation peut être applicable aussi sur les acritarches galéates (Servais et al. 2004). Cette évolution peut être reliée aussi à un autre facteur, qui est l'énergie du milieu. En fait, en milieu proximal, la forte énergie du milieu peut présenter un facteur défavorable pour le bon développement des processus (ce qui pourrait être confirmé par d'autres études à l'avenir). A l'inverse, un environnement calme peut favoriser le développement de processus plus longs et plus complexes.

Dans le même contexte, la distribution des acritarches au Silurien supérieur (Ludlowien), en Gotland (Stricanne et al. 2004) le long d'un transect *inshore-offshore* est marquée par l'abondance de formes à processus complexes vers la région distale. Les formes plus simples, à processus courts, ou sans processus (sphéromorphes) sont plus abondantes en zone proximale.

Dans l'Ordovicien Moyen-Supérieur de l'Amérique du Nord, Jacobson (1979) classe les acritarches en trois groupes en fonction des environnements de dépôt ; la classe des leiosphaeridés, qui caractérise un milieu peu profond, près du rivage ; la classe des 'peteinosphaeridés-*Dicommopalla*' pour un haut-fond (*shoal*) et la classe des 'baltisphaeridés-veryhachidés-*Polygonium*' pour un environnement de mer ouverte.

Une autre approche consiste à utiliser la diversité et l'abondance des acritarches pour caractériser les différentes zones, allant de la zone proximale, proche des rivages jusqu'à la zone distale (ex. Dorning 1981, Li et al. 2004). Dorning (1981) a indiqué que le nombre de genres et d'espèces varie d'une zone à l'autre ; 5 à 15 espèces par échantillon dans les assemblages de la zone proximale et entre 25 et 60 espèces en moyenne pour les assemblages de la zone distale. Cette diversité marque une diminution claire dans l'assemblage de la mer ouverte, avec entre 2 et 15 espèces par échantillon. Des résultats proches de ceux de Dorning (1981) ont été réalisés par Li et al. (2004) pour l'Ordovicien Inférieur-Moyen dans la plateforme de Yangtze, en Chine du Sud. Plusieurs conclusions intéressantes ont été tirées de cette étude : 1. la croissance de la diversité générique de la zone proximale vers la zone distale, 2. la diversité au niveau spécifique évolue dans le même sens ; 3. cette évolution s'accompagne d'un changement dans la composition des assemblages ; 4. la longueur des processus ainsi que leur complexité évoluent vers le large.

Les résultats des différents auteurs tendent dans le même sens, ce qui permet de faire des projections de ces modèles sur d'autres régions, pour interpréter les paléo-environnements.

Quoique l'étude de la composition des assemblages d'acritarches puisse donner une idée sur le paléo-environnement, la variation verticale et/ou horizontale de la diversité peut apporter plus de précisions, et voire l'évolution des paléo-environnements. Dans cette optique, la variation de l'évolution verticale de la diversité sera étudiée ici, en se basant sur nos résultats et les données des différents auteurs (Rauscher et al. 1982, Marhoumi et al. 1982, Baudelot et al. 1990) qui ont travaillé sur différents niveaux de la formation des Schistes de Tazekka et l'Unité de Bab Azhar.

Les résultats se résument comme suit;

1- Les analyses effectuées par Rauscher et al. (1982) et Marhoumi et al. (1982) ont permis de dater, pour la première fois l'Ordovicien Inférieur pour la Formation des Schistes de Tazekka. Les assemblages décrits par ces auteurs sont représentés par différents groupes d'acritarches : *Veryhachium*, *Micrhystridium*, *Coryphidium*, *Pirea*, *Striatotheca*, *Stelliferidium*, *Peteinosphaeridium* et d'autres. Un total de 16 genres ont été identifiés dans cet assemblage. L'examen de cet assemblage permet de souligner les points suivants :

a. l'absence de bons indicateurs de proximité du rivage, comme *Leiofusa* ; b. la présence de formes de mer profondes comme *Peteinosphaeridium* avec ; c. une diversité moyenne suggérant un environnement d'eau profonde (talus continental ou bassin profond)

2- Nos échantillons sont répartis sur deux unités lithologiques continues (voire partie implication stratigraphique); les Schistes de Tazekka en bas (échantillons: TZK19-06 à TZK19-10), surmontés par l'unité de Bab Azhar (échantillons: TZK19-01 à TZK19-05, puis TZK19-11 à TZK19-16).

Les échantillons des Schistes de Tazekka (TZK19-06 à TZK19-10) étaient stériles. Les premiers échantillons de l'Unité de Bab Azhar ; TZK19-01 et TZK19-02 présentent une grande richesse en acritarches, et une forte diversité avec plus de 35 genres d'acritarches (Fig. 7), répartis sur plus de 1000 individus par échantillon. On trouve la majorité des groupes morphologiques d'acritarches ; acanthomorphes, diacromorphes, polygonomorphes, etc. Les formes qui indiquent une proximité (comme *Leiofusa*) du rivage sont très rares. De telles caractéristiques peuvent traduire un environnement de plateforme distal.

3- Les échantillons de Baudelot et al. (1990) ont été prélevés dans la partie supérieure de l'Unité de Bab Azhar et ont permis d'attribuer un âge Ordovicien Supérieur (Caradocien) aux niveaux étudiés. Dans cet assemblage huit genres d'acritarches ont été identifiés : *Cymatiosphaera*, *Deunffia*, *Goniosphaeridium*, *Leiofusa*, *Leiovalia*, *Multiplicisphaeridium*, *Veryhachium* et *Villosacapsula*.

	TZK 19-01	TZK 19-02	TZK 19-03	TZK 19-04	TZK 19-05	TZK 19-10	TZK 19-11	TZK 19-12	TZK 19-13	TZK 19-14	TZK 19-15
<i>Acanthodiacrodium</i>	●	●	●				?		?		
<i>Arbusculidium</i>	●	●	●				?		●		●
<i>Arkonia</i>	●	●	●			●	●		?		
<i>Aureotesta</i>	●	●	●			●					
<i>Baltisphaeridium</i>	●	●	●				●				
<i>Barakella</i>	●	●					●				
<i>Comasphaeridium</i>	●	●	●					?	?		
<i>Coryphidium</i>	●	●	●				●	●	●		●
<i>Cristallinium</i>		●					?				
<i>Dicrodiacrodium</i>	●					?					
<i>Domazia</i>	●										
<i>Ericanthea</i>	●	●					●	●	●		●
<i>Estiastra</i>	●	●									
<i>Evittia</i>		●				●		?			
<i>Galeates</i>	●	●									
<i>Impliviculus</i>	●						●				●
<i>Leiofusa</i>	●	●							●		?
<i>Lophosphaeridium</i>	●	●	?			●	●		●		●
<i>Micrhystridium</i>	●	●					?		●		
<i>Multiplicisphaeridium</i>	●								?		
<i>Oodium</i>	●										
<i>Ordovicidium</i>	●	●					?				
<i>Orthosphaeridium</i>	●	?								?	
<i>Peteinosphaeridium</i>	●	●					●	●			
<i>Pterospermella</i>		●							?		
<i>Polygonium</i>	●	●	●				●	?	?		
<i>Rhopaliophora</i>	●	●					?				
<i>Solisphaeridium</i>	●	●					?	?	?		?
<i>Sphaeromorpha</i>	●										
<i>Stelliferidium</i>	●		●								
<i>Striathoteca</i>	●	●	●					●	●		●
<i>Sylvanidium</i>	●										
<i>Veryhachium</i>	●	●	●			●	●	●	●		●
<i>Villosacapsula</i>	?	●									
<i>Vogtlandia</i>	●	●					?	?			

Fig. 7. Distribution des différents taxons d'acritarches par rapport aux échantillons analysés.

Cet assemblage présente une faible diversité, qui associée à la présence des *Leiofusa*, suggère un milieu marin de plateforme proximale. Cette interprétation peut-être appuyé par la présence de facies détritique, plus ou moins grossier, caractérisé par des grès et des argiles micro conglomératiques qui marque la sédimentation à la fin de l'Ordovicien dans l'ensemble de la région (Hoepffner 1987).

Ces résultats montrent une évolution d'un milieu de dépôt, d'un environnement marin profond (talus continental ou bassin profond) à l'Ordovicien Inférieur à un environnement peu profond (plateforme proximale) à l'Ordovicien Supérieur (Caradocien), passant par un environnement de plate-forme distale à l'Ordovicien Moyen (Darriwilien).

## 7. Implications paléogéographiques

Durant l'Ordovicien, l'Afrique du Nord constitue une vaste plate-forme intracratonique, qui fait partie de l'énorme continent 'Gondwana ' (ex. Vecoli et Le Hérissé 2004). Les reconstitutions paléogéographiques, basées sur différents critères ; paléontologiques (ex. Paris 1998), paleomagnétiques (ex. Torsvik et al. 1992) et lithologiques (ex. Scotese et al. 1999) indiquent tous une position circumpolaire pour les régions nord africaines durant le Cambro-Ordovicien.

A cette époque, deux provinces d'acritarches peuvent être distinguées (Vavrdová 1974) ; une province péri-gondwanienne, et une province baltique. Cette distinction n'était pas bien prononcée au Trémadocien, mais à partir de l'Arénig elle devient de plus en plus claire (Vavrdová 1974). La province péri-gondwanienne est caractérisée par la présence de certains taxon d'acritarches, notamment *Arbusculidium* Deunff (1968), *Arkonia* Burmann (1970) et *Coryphidium* Vavrdová (1972), mais également de *Dicrodiacrodium* Burmann (1970), *Frankea* Burmann (1970) emend. Servais (1993) et *Striatotheca* Burmann (1970).

A l'exception du genre *Frankea*, tous les autres taxons sont présents dans notre assemblage. Certains taxons sont typiquement peri-gondwaniens, comme par exemple, *Coryphidium*, dont toutes les occurrences marquent cette province durant l'Ordovicien Inférieur-Moyen (Servais et al. 2008). Servais (1997), dans sa révision des deux genres *Arkonia* et *Striatotheca*, a montré que ces deux genres voisins sont caractéristiques des eaux froides et tempérées dans les provinces méditerranéennes (peri-gondwaniennes).

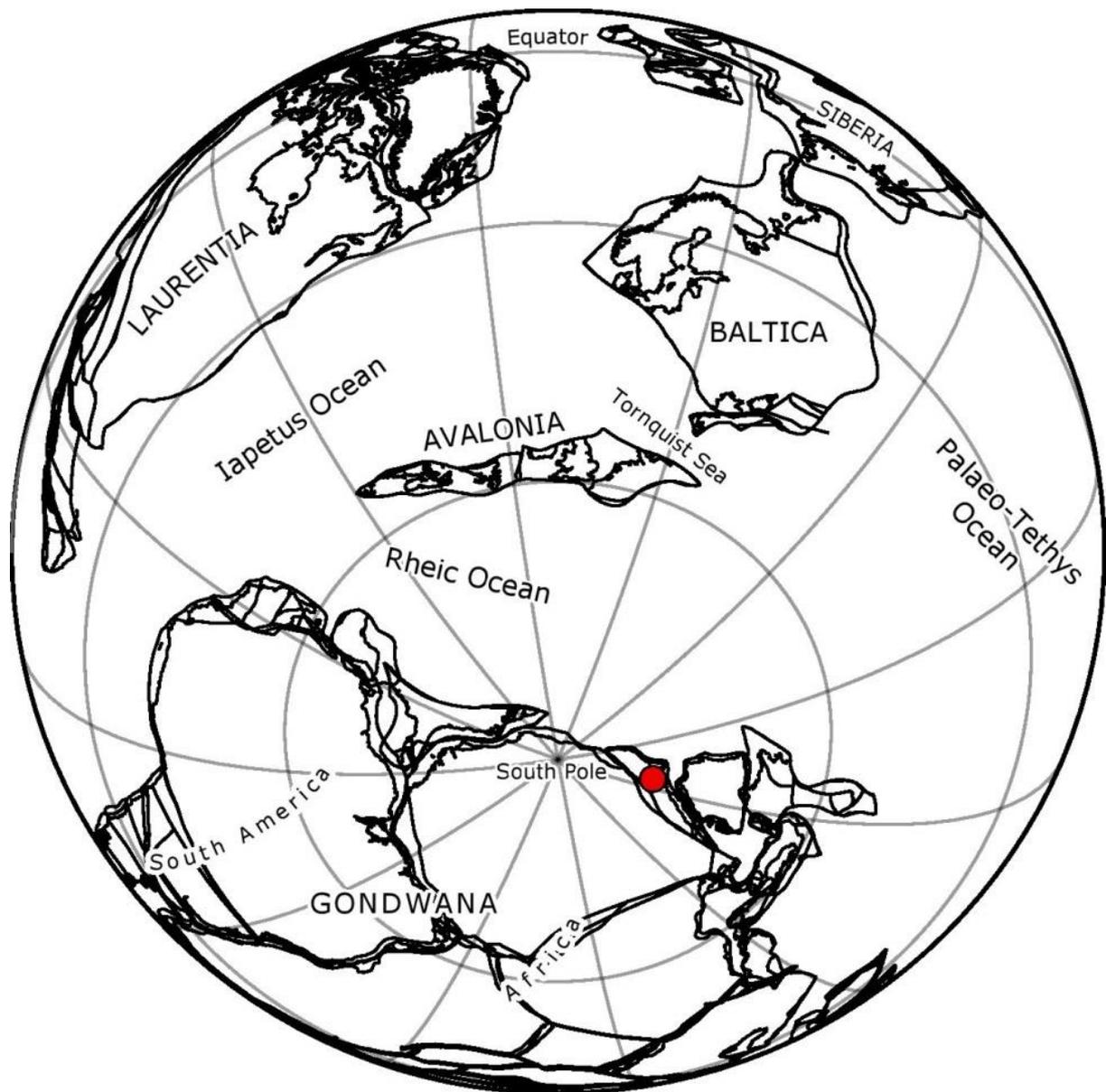


Fig. 8. Carte paléogéographique montrant la position de la région de Tazekka au Darriwilien (Ordovicien Moyen).

## 8. Conclusion

Une étude des assemblages palynologiques des terrains Ordovicien représentés par les Schistes de Tazekka et l'Unité de Bab Azhar a été effectuée. Ces formations marquent respectivement le domaine oriental et central du massif de Tazekka au Maroc central.

L'assemblage des acritarches est représenté par 35 genres identifiés, dont l'étude des répartitions stratigraphiques et surtout des premières apparitions (FAD) de quelques espèces

caractéristiques nous permet d'attribuer un âge Ordovicien Moyen (Darriwilien) aux niveaux concernés.

L'étude de la variation de la diversité basée sur notre matériel ainsi que sur les publications antérieures indique une évolution des environnements de dépôt, d'un milieu profond (type bassin ou talus continental) à l'Ordovicien Inférieur, à un milieu d'eau peu profonde à l'Ordovicien Moyen.

## Références bibliographiques

- Albani, R. (1989). Ordovician (Arenigian) acritarchs from the Solanas Sandstone Formation, Central Sardinia, Italy. *Bolletino Della Società Paleontologica Italiana*, 28(1), 3–37.
- Arriagha e Cunha, T., Vanguetaine, M., (1988). Acritarchs of the 'Xistos com Phyllocytes' Formation, Barrancos Region, SE of Portugal. *Comun. Serv. Geol. Port.* 74, 69–77.
- Basha, S.H., 1987. Acritarchs from Ordovician rocks in south Jordan. *Rev. Micropaléontol.* 30, 145–149.
- Baudelot, S., Charriere, A., Ouarhache, D., & Sabaoui, A. (1990). Données palynologiques nouvelles concernant l'Ordovicien et le Trias-Lias du Moyen-Atlas (Maroc). *Géologie Méditerranéenne*, 17(3), 263–277.
- Benachour, H. B., Mebarki, K., Bensalah, M., Kroeck, D. M., Navidi-Izad, N., Régnier, S., & Servais, T. (2020). Lower Palaeozoic acritarchs from the Traras Mountains—First evidence of Ordovician sediments in northwestern Algeria. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen*, 297(1), 113–123.
- Brocke, R., Fatka, O., & Servais, T. (1998). A review of the Ordovician acritarchs *Aureotesta* and *Marrocanium*. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 120, 1–21.
- Brocke, R., Li, J., & Wang, Y. (2000). Upper Arenigian to lower Llanvirnian acritarch assemblages from South China: a preliminary evaluation. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 113(1–3), 27–40.
- Burmann, G. (1968). Diacrodien aus dem unteren Ordovizium. *Paläontologische Abhandlungen Abteilung B Paläobotanik*, 2(4), 635–652.

- Burmann, G. (1970). Weitere organische Mikrofossilien aus dem unteren Ordovizium. *Paläontologische Abhandlungen, Abteilung B*, 3, 289–332.
- Chakir A. (1983). Contribution à l'étude des Acritarches du massif du Tazekka (Maroc). *Mémoire de fin d'études, Université de Liège*, 154p. (Inédit).
- Choubert, G. & Marçais, J. (1952) : Aperçu structural, in : Géologie du Maroc. - *Notes et M. Serv. géol. Maroc*, 100, et 19è Congr. géol. Intern., Alger, Monogr. région., 3è sér.: Maroc, 6, p. 9-73
- Colbath, G. K. (1979). Organic-walled microphytoplankton from the Eden Shale (upper Ordovician), Indiana, USA. *Palaeontographica Abteilung Band*, 171(1/3), p. 1–38.
- Connery, C., & Higgs, K. T. (1999). Tremadoc-Arenig acritarchs from the Annascaul Formation, Dingle Peninsula, Co. Kerry, Ireland. *Bollettino Societa Paleontologica Italiana*, 38(2/3), 133–154.
- Cooper, A. H., & Molyneux, S. G. (1990). The age and correlation of Skiddaw Group (early Ordovician) sediments in the Cross Fell inlier (northern England). *Geological Magazine*, 127(2), 147–157.
- Cooper, A. H., Rushton, A. W. A., Molyneux, S. G., Hughes, R. A., Moore, R. M., & Webb, B. C. (1995). The stratigraphy, correlation, provenance and palaeogeography of the Skiddaw Group (Ordovician) in the English Lake District. *Geological Magazine*, 132(2), 185–211.
- Cramer, F. H., & Díez, M. del C. (1977). Late Arenig (Ordovician) acritarchs from Cis-Saharan Morocco. *Micropaleontology*, 23(3), 339–360.

- Cramer, F. H., Kanes, W. H., Díez, M. del C. R., & Christopher, R. A. (1974). Early Ordovician Acritarchs from the Tadla Basin of Morocco. *Palaeontographica Abteilung B*, 146(3–6), 57–64.
- de la Puente, G. S., & Rubinstein, C. V. (2013). Ordovician chitinozoans and marine phytoplankton of the Central Andean Basin, northwestern Argentina: A biostratigraphic and paleobiogeographic approach. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 198, 14–26.
- Dean, W. T., & Martin, F. (1978). Lower Ordovician Acritarchs and Trilobites from Bell Island, Eastern Newfoundland. *Geological Survey of Canada, Bulletin*, 284, 35pp.
- Dean, W.T., Martin, F., 1992. Ordovician biostratigraphic correlation in southern Turkey. In: Webby, B.D., Laurie, J.R. (Eds.), *Global Perspectives on Ordovician Geology*. Balkema, Rotterdam, pp. 195–203.
- Dorning, K. J. (1981). Silurian acritarch distribution in the Ludlovian shelf sea of South Wales and the Welsh Borderland. *Microfossils from Recent and Fossil Shelf Seas*, 31–36.
- Eisenack, A. (1968). Mikrofossilien eines Geschiebes der Borkholmer Stufe, baltisches Ordovizium, F2. *Mitteilungen aus dem Geologischen Staatsinstitut in Hamburg*, 37, 81–94.
- Eisenack, A., Cramer, F. H., & Diez, M. (1976). Katalog der fossilen Dinoflagellaten, Hystrichosphären und verwandten Mikrofossilien, IV: Acritarcha, 2. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Naegle and Obermiller). 836pp.

- Elaouad-Debbaj, Z. (1978). Acritarches de l'Ordovicien supérieur du synclinal de Buçaco (Portugal): systématique, biostratigraphie-intérêt paléogéographique. *Bulletin de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne* 10, 1–101
- Elaouad–Debbaj, Z. (1988). Acritarches de l'Ordovicien supérieur (Caradocien–Ashgillien) de l'Anti–Atlas, Maroc. *Revue de micropaléontologie* 30, 232–248.
- Ellegaard, M. (2000). Variations in dinoflagellate cyst morphology under conditions of changing salinity during the last 2000 years in the Limfjord, Denmark. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 109(1), 65–81.
- Fang, X. (1986). Ordovician micropaleoflora in Kunming–Luquan region, Yunnan Province and its stratigraphical significance. *Professional Papers of Stratigraphy and Palaeontology*, 16, 125–172.
- Fatka, O. (1992). Early Arenig acritarchs from the lower Klabava Formation (Prague basin, Czechoslovakia). *Věstník Ústředního Ústavu Geologického*, 67(4), 277–287.
- Fatka, O. (1993). Chitinozoans and acritarchs in latest Tremadoc-early Arenig sediments of the Prague Basin, Czech Republic. *Special Papers in Palaeontology*, 48, 29–36.
- Fatka, O. (2003). Organic-walled microfossils (Chitinozoa and Acritarcha) from Praha–Červený vrch Hill (Šárka Formation, Middle Ordovician, Prague Basin). *Bulletin of Geosciences*, 78(2), 119–127.
- Fatka, O., & Brocke, R. (1999). Morphologic variability in two populations of *Arbusculidium filamentosum* (Vavrdová 1965) Vavrdová 1972. *Palynology*, 23(1), 153–180.
- Fatka, O., Molyneux, S. G., & Servais, T. (1997). The Ordovician acritarch *Frankea*: some critical remarks. *Geobios*, 30(3), 321–326.

- Fournier-Vinas, C., & Donnot, M. (1977). Présence d'acritarches dans l'Ordovicien inférieur et le Cambrien des monts de l'est de Lacaune (Aveyron). Versant nord de la Montagne noire. *Bulletin du BRGM*, 2(2), 121–129.
- Ghavidel-syooki, M. (1996). Acritarch biostratigraphy of the Palaeozoic rock units in the Zagros Basin, Southern Iran. *Acta Universitatis Carolinae Geologica*, 385–412.
- Ghavidel-syooki, M. (2001). Biostratigraphy and palaeogeography of late Ordovician and Early Silurian Chitinozoans from the Zagros basin, southern Iran. *Historical Biology*, 15(1–2), 29–39.
- Ghavidel-syooki, M. (2003). Palynostratigraphy and paleogeography of Lower Paleozoic strata at Kuh-e-Boghou, southwest of Kashmar City, at eastern central Iran. *Iranian International Journal of Science*, 4(2), 181–207.
- Ghavidel-syooki, M. (2006). Palynostratigraphy and palaeogeography of the Cambro-Ordovician strata in southwest of Shahrud City (Kuh-e-Kharbash, near Deh-Molla), central Alborz Range, northern Iran. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 139(1–4), 81–95.
- Ghavidel-syooki, M., & Khosravi, M. E. (1995). Investigation of Lower Palaeozoic sediments at Tang-e-Zakeen of Kuh Faraghan and introduction of Seyahou and Sarchahan formations in Zagros basin, southern Iran. *Geoscience, Scientific Quarterly Journal*, 4, 2–21.
- Górka, H. (1987). Acritarches et prasinophyceae de l'Ordovicien moyen (Viruen) du sondage de Smedsby Gaard no. 1 (Gotland, Suède). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 52(4), 257–297.

- Hoepffner, C. (1977). Données nouvelles sur le Paléozoïque de la bordure occidentale du massif du Tazekka (Maroc oriental). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 284, 1635 -1637.
- Hoepffner, C. (1978). Le massif paléozoïque du Tazekka (Maroc); analyse des déformations liées à un linéament tectonique. *Sciences Géologiques, Bulletins et Mémoires*, 31(1), 33–44.
- Hoepffner, C. (1981). Le complexe volcano-sédimentaire d'âge carbonifère dans le massif du Tazekka; sa place dans l'évolution hercynienne de la Meseta marocaine orientale. *Sciences Géologiques, Bulletins et Mémoires*, 34(2), 97–106.
- Hoepffner, C. (1987). La tectonique hercynienne dans l'Est du Maroc (PhD Thesis, Université de Strasbourg). 280pp
- Hoepffner, C., Ouanaimi, H., & Michard, A. (2017). La Meseta, un terrain vagabond ou la marge fragmentée de l'Anti-Atlas? *Géologues (Soc. Géol. Fr.)*, 194, 19–23.
- Jachowicz, M. (1995). Ordovician acritarch assemblages from central and northwestern Saudi Arabia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 89(1–2), 19–25.
- Jacobson, S. R. (1979). Acritarchs as paleoenvironmental indicators in Middle and Upper Ordovician rocks from Kentucky, Ohio and New York. *Journal of Paleontology*, 1197–1212.
- Keegan, J. B., Rasul, S. M., & Shaheen, Y. (1990). Palynostratigraphy of the lower Palaeozoic, Cambrian to Silurian, sediments of the Hashemite Kingdom of Jordan. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 66(3–4), 167–180.
- Kjellström, G. (1971). Ordovician microplankton (baltisphaerids) from the Grotlingbo borehole No. 1 in Gotland. *Sweden: Sveriges Geologiska Undersokning*, 65(1), 1–75.

- Kraft, P., Budil, P., Chlupáč, I., Fatka, O., Kraft, J., Mikuláš, R., et al. (2003). Fossil assemblages from the Middle Ordovician Šárka Formation at Praha–Červený vrch Hill (Prague Basin, Barrandian area). *Bulletin of Geosciences*, 78(2), 99–101.
- Kroeck, D. M., Blanchon, M., Zacaï, A., Navidi-Izad, N., Benachour, H. B., Monnet, C., Raevskaya E, Szczepanik Z. & Servais T. (2020). Revision of the Cambro-Ordovician acritarch genus *Vulcanisphaera* Deunff, 1961. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 104212.
- Kui, Y., Servais, T., & Jun, L. (2010). Revision of the Ordovician acritarch genus *Ampullula* Righi 1991. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 163(1), 11–25.
- Le Hérissé, A., Al-Ruwaili, M., Miller, M., & Vecoli, M. (2007). Environmental changes reflected by palynomorphs in the early Middle Ordovician Hanadir Member of the Qasim Formation, Saudi Arabia. *Revue de Micropaléontologie*, 50(1), 3–16.
- Lei, Y., Servais, T., Feng, Q., & He, W. (2012). The spatial (nearshore–offshore) distribution of latest Permian phytoplankton from the Yangtze Block, South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 363, 151–162.
- Li, J. (1987). Ordovician acritarchs from the Meitan Formation of Guizhou Province, South-West China. *Palaeontology* 30(3), 613–634.
- Li, J., Servais, T., & Brocke, R. (2002). Chinese Paleozoic acritarch research: review and perspectives. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 118(1–4), 181–193.
- Li, J., Molyneux, S. G., Rubinstein, C. V., & Servais, T. (2003). Acritarchs of peri-Gondwana at the lower and middle Ordovician stage boundaries. In: Albanesi, G.L., Beresi, M.S. and Peralta, S.H. (Editors), Ordovician from the Andes. Serie Correlacion Geologica. 17, pp. 95-99.

- Li, J., Servais, T., Yan, K., & Zhu, H. (2004). A nearshore–offshore trend in acritarch distribution from the Early–Middle Ordovician of the Yangtze Platform, South China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 130(1–4), 141–161.
- Li, J., Servais, T., Yan, K., & Su, W. (2007). Microphytoplankton diversity curves of the Chinese Ordovician. *Bulletin de La Société Géologique de France*, 178(5), 399–409.
- Li, J., Servais, T., & Kui, Y. (2010). Acritarch biostratigraphy of the Lower-Middle Ordovician boundary (Dapingian) at the Global Stratotype Section and Point (GSSP), Huanghuachang, South China. *Newsletters on Stratigraphy*, 43(3), 235–250.
- Li, J., Servais, T., & Yan, K. (2014). The Ordovician acritarch genus *Rhopaliophora*: Biostratigraphy, palaeobiogeography and palaeoecology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 208, 1–24.
- Loeblich, A.R., Jr. (1970). *Dicommopalla*, a new acritarch genus from the Dillsboro Formation (Upper Ordovician) of Indiana, U.S.A. *Phycologia*, 9(1), 39–43.
- Loeblich Jr, A. R., & Tappan, H. (1978). Some middle and late Ordovician microphytoplankton from central North America. *Journal of Paleontology*. 52(6), 1233–1287.
- Maletz, J., & Servais, T. (1993). Acritarchs and graptolites from the Early Llanvirn (Ordovician) of the Herscheider Schichten (Rheinisches Schiefergebirge, Germany). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 190(1), 125–142.
- Marhoumi, M. R. (1984). Etudes palynologiques des séries dinantiennes de la Meseta marocaine. Conséquences stratigraphiques et structurales. Thèse 3<sup>ème</sup> Cycle, Université de Strasbourg, 111 pp.

- Marhoumi, M. R., Rauscher, R., & Vanguestaine, M. (1982). Les microfossiles (Chitinozoaires et Acritarches) des schistes du Tazekka au Maroc oriental. *Sciences Géologiques, Bulletins et Mémoires*, 35(3), 137–145.
- Martin, F. (1980). Quelques Chitinozoaires et Acritarches ordoviciens supérieurs de la Formation d White Head en Gaspésie, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 17(1), 106–119.
- Martin, F. (1983). Chitinozoaires et acritarches ordoviciens de la plate-forme du Saint-Laurent (Québec et sud-est de l'Ontario). *Geological Survey of Canada Bulletin*, 310, 1–59.
- Martin, F., & Rickards, B. (1979). Acritarches, chitinozoaires et graptolithes ordoviciens et siluriens de la vallée de la Sennette (Massif du Brabant, Belgique). *Annales de la Société Géologique de Belgique*. 102, 189-197.
- Martin, F., & Dean, W. T. (1988). Middle and Upper Cambrian acritarch and trilobite zonation at Manuels River and Random Island, eastern Newfoundland. *Geological Survey of Canada*. 381, 91 pp.
- Medioni, R. (1967). Travaux cartographiques et études géologiques dans la Meseta orientale. *C. R. des Activ. Serv. Carte géologique du Maroc*, 67–70 (inédit).
- Miller, M. A., & Al-Ruwaili, M. H. (2007). Preliminary palynological investigation of Saudi Arabian Upper Ordovician glacial sediments. *Revue de Micropaléontologie*, 50(1), 17–26.
- Michard, A. (1976). Eléments de Géologie Marocaine. *Notes Mem. Serv. Géol. Maroc*. 252, 408 p.

- Molyneux, S. G. (1990). Advances and problems in Ordovician palynology of England and Wales. *Journal of the Geological Society*, 147(4), 615–618.
- Molyneux, S. G. (2009). Acritarch (marine microphytoplankton) diversity in an Early Ordovician deep-water setting (the Skiddaw Group, northern England): Implications for the relationship between sea-level change and phytoplankton diversity. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 275(1–4), 59–76.
- Molyneux, S. G., & Leader, R. U. (1997). Morphological variation in *Coryphidium* from the Arenig series (lower Ordovician) of northwestern England. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 98(1–2), 81–94.
- Molyneux, S. G., Raevskaya, E., & Servais, T. (2007). The *messaoudensis*—*trifidum* acritarch assemblage and correlation of the base of Ordovician Stage 2 (Floian). *Geological Magazine*, 144(1), 143–156.
- Morin, P. (1948). Découverte de fossiles dans le massif du Tazzeka (Maroc). *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, 227(11), 560–562.
- Navidi-Izad, N., Hashemi, H., Régnier, S., Kroeck, D., Yan, K., & Servais, T. (2020). Revision of the Middle–Upper Ordovician acritarch genus *Orthosphaeridium* Eisenack 1968 nov. emend. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 273, 104127.
- Nehring, S. (1994). Spatial distribution of dinoflagellate resting cysts in recent sediments of Kiel Bight, Germany (Baltic Sea). *Ophelia*, 39(2), 137–158.
- Nowak, H., Servais, T., Pittet, B., Vaucher, R., Akodad, M., Gaines, R. R., & Vandenbroucke, T. R. (2016). Palynomorphs of the Fezouata Shale (Lower Ordovician, Morocco): age and environmental constraints of the Fezouata Biota. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 460, 62–74.

- Oliva, P. (1977). A. Michard, Eléments de géologie marocaine. *Méditerranée*, 29(2), 106–106.
- Ottone, E. G., Toro, B. A., & Waisfeld, B. G. (1992). Lower Ordovician palynomorphs from the Acoite formation, Northwestern Argentina. *Palynology*, 16(1), 93–116.
- Paris, F. (1998). Early Palaeozoic palaeobiogeography of northern Gondwana regions. *ACTA-Acta Universitatis Carolinae Geologica*, (3/4), 473–484.
- Piqué, A., & Michard, A. (1981). Les zones structurales du Maroc hercynien. *Sciences Géologiques, Bulletins et Mémoires*, 34(2), 135–146.
- Playford, G., Ribecai, C., & Tongiorgi, M. (1995). Ordovician acritarch genera *Peteinosphaeridium*, *Liliosphaeridium*, and *Cycloposphaeridium*: morphology, taxonomy, biostratigraphy, and palaeogeographic significance. *Bollettino Della Società Paleontologica Italiana*, 34(1), 3–54.
- Quintavalle, M., Tongiorgi, M., & Gaetani, M. (2000). Lower to Middle Ordovician acritarchs and chitinozoans from northern Karakorum Mountains, Pakistan. *Rivista Italiana Di Paleontologia e Stratigrafia*, 106(1).
- Rauscher, R. (1974). Les acritarches de l'Ordovicien en France. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 18(1–2), 83–97.
- Rauscher, R., Marhoumi, R., Vanguetaine, M., & Hoepffner, C. (1982) Datation palynologique des schistes du Tazekka au Maroc. Hypothèse structurale sur le socle hercynien de la meseta orientale. *C.R. Seances Acad. Sci.*, 294 (19), 1203-1206.
- Reitz, E., & Höll, R. (1992). Palynological evidence for Lower Ordovician rocks (Tremadoc and Arenig) in the Northern Greywacke Zone (Eastern Alps). *Terra Nova*, 4(2), 198–203.

- Rubinstein, C. V., & Toro, B. A. (2001). Review of acritarch biostratigraphy in the Arenigian of the Eastern Cordillera, northwestern Argentina. New data and calibration with the graptolite zonation. *Contributions to Geology and Palaeontology of Gondwana in Honour of Helmut Wopfner*, 421–39.
- Rubinstein, C. V., Toro, B. A., & Waisfeld, B. G. (1999). Acritarch biostratigraphy of the upper Tremadoc-Arenig of the Eastern Cordillera, northwestern Argentina: relationships with graptolite and trilobite faunas. *Bollettino-Societa Paleontologica Italiana*, 38(2/3), 267–286.
- Rubinstein, C. V., De La Puente, G. S., Servais, T., Vecoli, M., & Astini, R. A. (2007). Advances in the Ordovician palynology of Argentina: biostratigraphy and paleobiogeography. In *4th European Meeting on the Palaeontology and Stratigraphy of Latin America Cuadernos del Museo Geominero* (pp. 349–354).
- Rubinstein, Claudia V., Vargas, M. C., de la Parra, F., Hughes, G. M., & Solano, C. C. (2019). Lower Ordovician (late Tremadocian?-Floian) palynomorphs from the Llanos Basin, Colombia: Biostratigraphic and paleogeographic significance. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 268, 43–54.
- Sarjeant, W. A. S., & Stancliffe, R. P. W. (1994). The *Micrhystridium* and *Veryhachium* complexes (Acritarcha: Acanthomorphae and Polygonomorphae): a taxonomic reconsideration. *Micropaleontology*, 40 (1), 1–77.
- Scotese, C. R., Boucot, A. J., & McKerrow, W. S. (1999). Gondwanan palaeogeography and paleoclimatology. *Journal of African Earth Sciences*, 28(1), 99–114.

- Servais, T. (1991). Contribution to the stratigraphy of the Ordovician Rigenée Formation (Brabant Massif, Belgium) with a preliminary study on acritarchs. *Annales de La Société Géologique de Belgique*, 114, 233-245.
- Servais, T. (1993). The Ordovician acritarch *Frankea*. In: Molyneux, S.G., Dorning, K. J. (Eds.), Contributions to acritarch and chitinozoan research. *The Palaeontological Association (Special Papers in Palaeontology 48)*, Durham, UK, pp. 79–95.
- Servais, T. (1997). The Ordovician *Arkonia-Striatotheca* acritarch plexus. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 98(1–2), 47–79.
- Servais, T., & Maletz, J. (1992). Lower Llanvirn (Ordovician) graptolites and acritarchs from the «assise de Huy», Bande de Sambre-et-Meuse, Belgium. *Annales de La Société Géologique de Belgique*, 115, 265–284.
- Servais, T., & Molyneux, S. G. (1997). The *messaoudensis-trifidum* assemblage (early Ordovician: latest Tremadoc to earliest Arenig) from the subsurface of Rügen (NE-Germany, Baltic Sea). *Palaeontographia Italica*, 84, 113–161.
- Servais, T., Brocke, R., & Fatke, O. (1996). Variability in the Ordovician acritarch *Dicrodiacrodium*. *Palaeontology*, 39(2), 389–406.
- Servais, T., Stricanne, L., Montenari, M., & Pross, J. (2004). Population dynamics of galeate acritarchs at the Cambrian–Ordovician transition in the Algerian Sahara. *Palaeontology*, 47(2), 395–414.
- Servais, T., Vecoli, M., Li, J., Molyneux, S. G., Raevskaya, E. G., & Rubinstein, C. V. (2007). The acritarch genus *Veryhachium* deunff 1954: taxonomic evaluation and first appearance. *Palynology*, 31(1), 191–203.
- Servais, T., Li, J., Molyneux, S. G., & Vecoli, M. (2008). The Ordovician acritarch genus *Coryphidium*. *Revue de Micropaléontologie*, 51(1), 97–120.

- Servais, T., Molyneux, S. G., Li, J., Nowak, H., Rubinstein, C. V., Vecoli, M., Wang, W., & Yan, K. (2018). First Appearance Datums (FAD s) of selected acritarch taxa and correlation between Lower and Middle Ordovician stages. *Lethaia*, 51(2), 228–253.
- Staplin, F. L. (1961). Reef-controlled distribution of Devonian microplankton in Alberta. *Palaeontology*, 4(3), 392–424.
- Staplin, F. L., Jansonius, J., & Pocock, S. A. (1965). Evaluation of some acritarchous hystrichosphere genera. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 123(2), 167–201.
- Stricanne, L., Munnecke, A., Pross, J., & Servais, T. (2004). Acritarch distribution along an inshore–offshore transect in the Gorstian (lower Ludlow) of Gotland, Sweden. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 130(1–4), 195–216.
- Tappan, H., & Loeblich, A. R. (1971). Surface sculpture of the wall in Lower Paleozoic acritarchs. *Micropaleontology*, 17(4), 385–410.
- Tongiorgi, M., Di Milia, A., Le Fort, P., & Gaetani, M. (1994). Palynological dating (Arenig) of the sedimentary sequence overlying the Ishkarwaz Granite (upper Yarkhun valley, Chitral, Pakistan). *Terra Nova*, 6(6), 595–607.
- Tongiorgi, M., Bruton, D. L., & Di Milia, A. (2003). Taxonomic composition and palaeobiogeographic significance of the acritarch assemblages from the Tremadoc–Arenig (Hunneberg, Billingen, and lower Volkhov Stages) of the Oslo region. *Bollettino-Societa Paleontologica Italiana*, 42(3), 205–224.
- Torsvik, T. H., Sturt, B. A., Swensson, E., Andersen, T. B., & Dewey, J. F. (1992). Palaeomagnetic dating of fault rocks: evidence for Permian and Mesozoic movements

- and brittle deformation along the extensional Dalsfjord Fault, western Norway. *Geophysical Journal International*, 109(3), 565–580.
- Tryhall, R. J. B., Eccles, C., Molyneux, S. G., & Taylor, W. E. G. (1987). Age and controls of ironstone deposition (Ordovician) of North Wales. *Geological Journal*, 22(S1), 31–43.
- Turner, R. E. (1984). Acritarchs from the type area of the Ordovician Caradocian Series, Shropshire, England. *Palaeontographica Abteilung B Paläophytologie*, 190(4–6), 87–157.
- Turner, R. E. (1985). Acritarchs from the type area of the Ordovician Llandeilo Series, South Wales. *Palynology*, 9(1), 211–234.
- Turner, R. E., & Wadge, A. J. (1979). Acritarch dating of Arenigian volcanism in the Lake District. *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, 42(3), 405–414.
- Uutela, A., & Tynni, R. (1991). Ordovician acritarchs from the Rapla borehole, Estonia. *Bulletin-Geological Survey of Finland*, 353, 135 p.
- Valensi L. (1948). Sur quelques micro-organismes planctoniques des silex du Jurassique moyen du Poitou et de Normandie. *Bull. Soc. géol. Fr*, 5(18), 537-550.
- Vanguetaine, M. (2008). Early and Middle Ordovician acritarchs of the Senne-Sennette river valleys (Brabant Massif, Belgium) and their stratigraphic implications. *Geologica Belgica*. 11(1-2): 3-23.
- Vanguetaine, M., & Wauthoz, B. (2011). Acritarchs from the Abbaye de Villers and Tribotte Formations in their type section of the Thyle river valley (Middle Ordovician, Brabant

- Massif, Belgium) and their stratigraphic implications. *Geologica Belgica*. 14(1-2): 3-22.
- Vavrdová, M. (1965). Ordovician acritarchs from Central Bohemia. *Vestník Ustředního Ústavu Geologického*, 40, 351-357.
- Vavrdová, M. (1972). Acritarchs from Klabava Shales (Arenig). *Vestník Ustředního Ústavu Geologického* 47(2), 79–86.
- Vavrdová, M. (1974). Geographical differentiation of Ordovician acritarch assemblages in Europe. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 18(1–2), 171–175.
- Vavrdová, M. (1976). Excystment mechanism of early Paleozoic acritarchs. *Casopis pro Mineralogii a Geologii* 21, 55–64.
- Vavrdová, M. (1977). Acritarchs from the Sárka Formation (Llanvirnian). *Vestník Ustředního Ústavu Geologického*, 52, 109-118.
- Vavrdová, M. (1982). Phytoplankton communities of Cambrian and Ordovician age of Central Bohemia. *Vestník Ustředního Ústavu Geologického*, 57(3), 145–155.
- Vavrdová, M. (1986). New genera of acritarchs from the Bohemian Ordovician. *Časopis pro Mineralogii a Geologii*, 31(4), 349–359.
- Vavrdová, M. (1988). Further acritarchs and terrestrial plant remains from the Late Ordovician at Hlasna Treban (Czechoslovakia). *Časopis pro Mineralogii a Geologii*, 33(1), 1–10.
- Vavrdová, M. (1990). Early Ordovician acritarchs from the locality Myto near Rokycany (late Arenig, Czechoslovakia). *Časopis pro Mineralogii a Geologii*, 35(3), 237–250.

- Vecoli, M. (1999). Cambro-Ordovician palynostratigraphy (acritarchs and prasinophytes) of the Hassi-R'Mel area and northern Rhadames Basin, North Africa - *Palaeontographia Italica*, 86: 1–112
- Vecoli, M. (2000). Palaeoenvironmental interpretation of microphytoplankton diversity trends in the Cambrian–Ordovician of the northern Sahara Platform. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 160(3–4), 329–346.
- Vecoli, M. (2004). Stratigraphic and palaeoenvironmental distribution of organic-walled microfossils in Cambrian-Ordovician transitional strata of borehole Bir Ben Tartar-1 (Tr-1; Ghadamis Basin, southern Tunisia). *Memoir-Association of Australasian Palaeontologists*, 29, 13–30.
- Vecoli, M., & Le Hérisse, A. (2004). Biostratigraphy, taxonomic diversity and patterns of morphological evolution of Ordovician acritarchs (organic-walled microphytoplankton) from the northern Gondwana margin in relation to palaeoclimatic and palaeogeographic changes. *Earth-Science Reviews*, 67(3–4), 267–311.
- Wall, D., Dale, B., & Harada, K. (1973). Descriptions of new fossil dinoflagellates from the Late Quaternary of the Black Sea. *Micropaleontology*, 19(1), 18–30.
- Wang, W., Servais, T., Yan, K., Vecoli, M., & Li, J. (2015). The Ordovician acritarch *Dactylofusa velifera* Cocchio 1982: a biostratigraphical and palaeogeographical index species. *Palynology*, 39(1), 125–141.
- Wicander, R., & Wood, G. D. (1997). The use of microphytoplankton and chitinozoans for interpreting transgressive/regressive cycles in the Rapid Member of the Cedar Valley

- Formation (Middle Devonian), Iowa. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 98(1–2), 125–152.
- Yan, K., Servais, T., Li, J., Wu, R., & Tang, P. (2011). Biodiversity patterns of Early–Middle Ordovician marine microphytoplankton in South China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 299(1–2), 318–334.
- Yan, K., Li, J., & Servais, T. (2013). An Early–Middle Ordovician acritarch and prasinophyte assemblage from Houping, Chongqing city, South China: Biostratigraphical and palaeoenvironmental implications. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 198, 110–133.
- Yan, K., Li, J., Molyneux, S. G., Raevskaya, E. G., & Servais, T. (2017). A review of the Ordovician acritarch genus *Barakella* Cramer & Díez . *Palynology*, 41, 80–94.
- Yin, L. (1995). Early Ordovician acritarchs from Hunjiang region, Jilin, and Yichang region, Hubei, China. *Palaeontologia Sinica Ser A*, 185, 1–170.

## **Planches photographiques**

### Planche I

A- *Acanthodiacrodium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

B- *Aureotesta clathrata* var. *simplex* (Cramer et al. 1974) Brocke et al. 1997, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

C- *Acanthodiacrodium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

D- ?*Arbusculidium* sp.

E- *Arbusculidium filamentosum* (Vavrdová, 1965) Vavrdová, 1972 emend. Fatka and Brocke, 1999, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

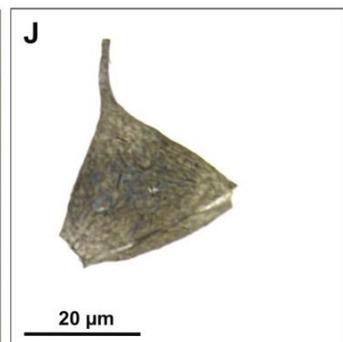
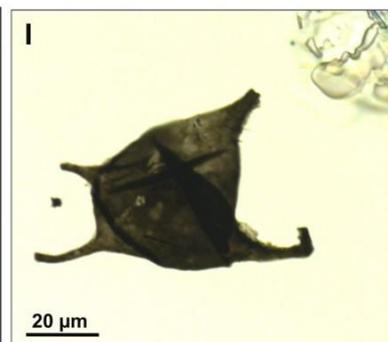
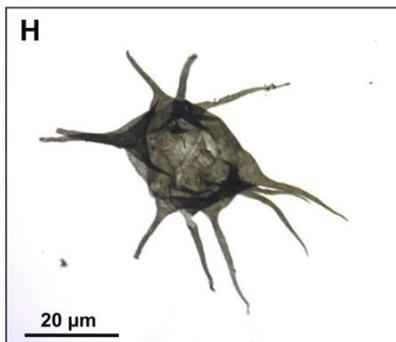
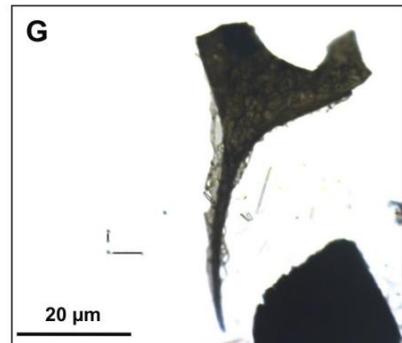
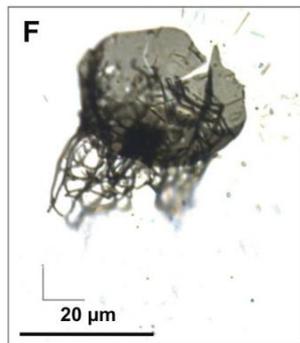
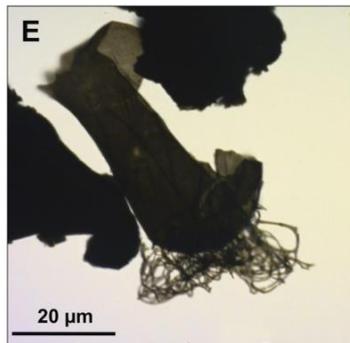
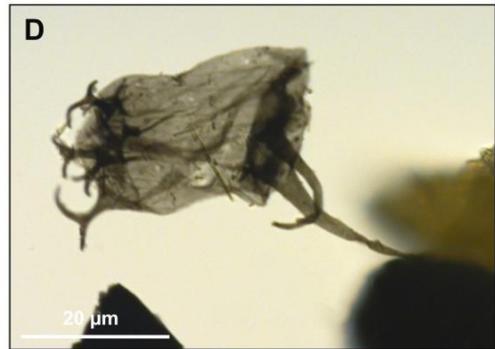
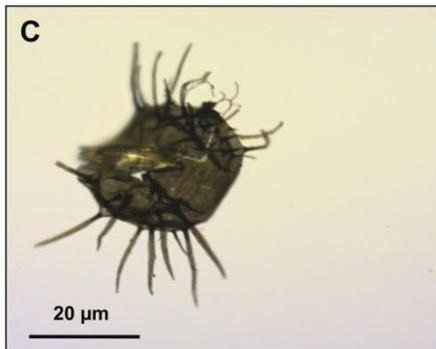
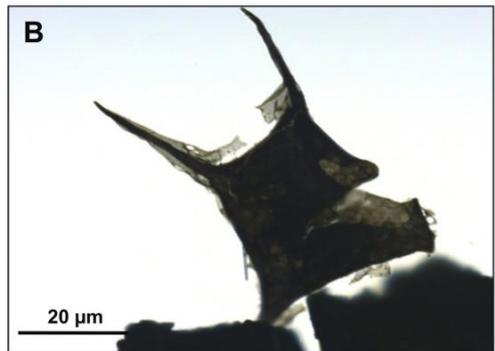
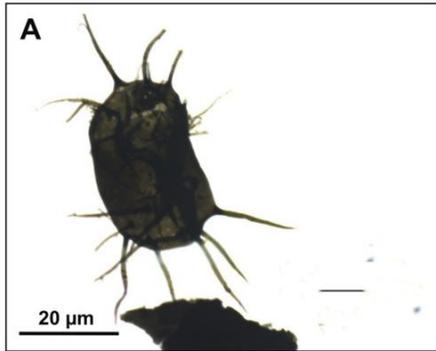
F- *Arbusculidium filamentosum* (Vavrdová, 1965) Vavrdová, 1972 emend. Fatka and Brocke, 1999, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

G- *Aureotesta clathrata* var. ? *clathrata* (Cramer et al. 1974) Brocke et al. 1997, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

H- *Acanthodiacrodium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

I- *Aureotesta clathrata* var. *simplex* (Cramer et al. 1974) Brocke et al. 1997, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

J- *Arkonina* cf. *virgata* Burmann 1970, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01



## Planche II

A- ? *Barakella felix* Cramer et Diez 1977, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

B- *Baltisphaeridium* sp, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

C- *Coryphidium bohemicum* Vavrdová, 1972 emend. Servais et al., 2008, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

D- *Comasphaeridium tonsum* Cramer et Diez, 1977, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

E- *Barakella fortunata* Cramer et Diez 1977, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

F-*Baltisphaeridium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

G-*Baltisphaeridium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

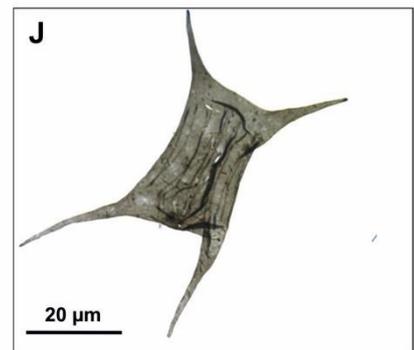
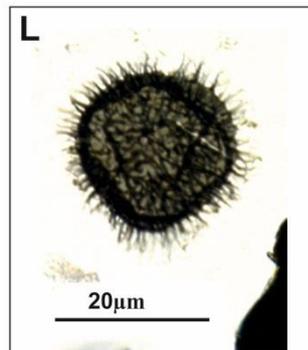
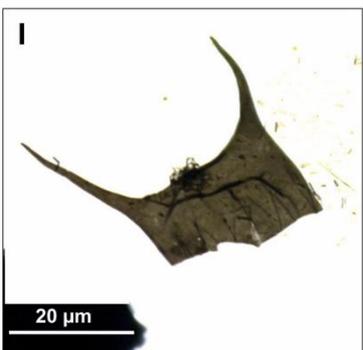
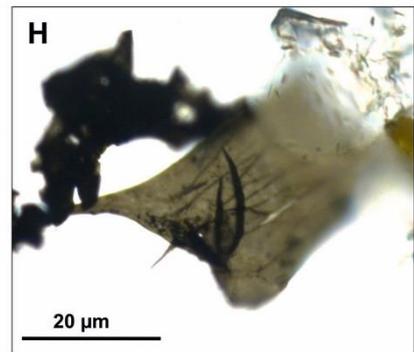
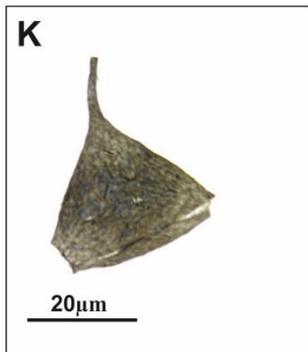
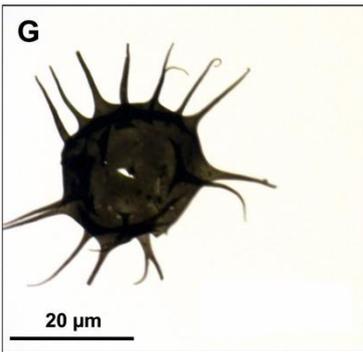
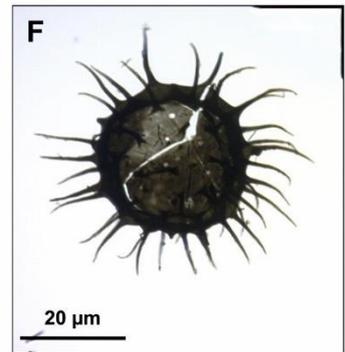
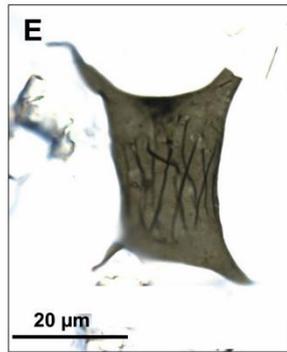
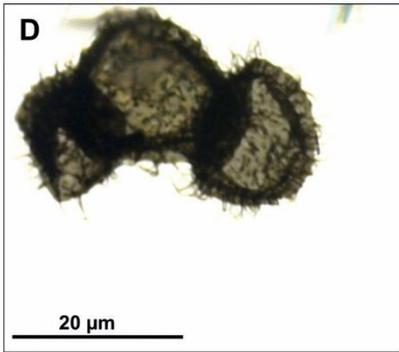
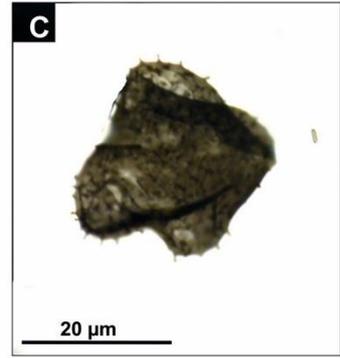
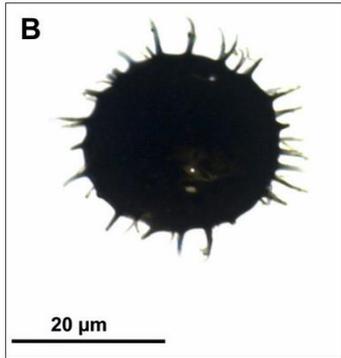
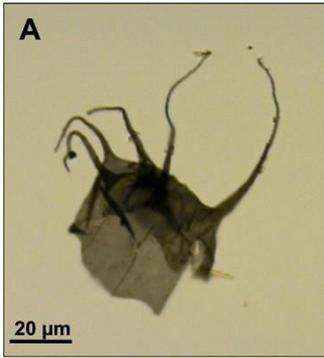
H- *Barakella fortunata* Cramer & Diez 1977, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

I- *Barakella fortunata* Cramer & Diez 1977, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

J- *Barakella fortunata* Cramer & Diez 1977, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

K- *Arkonia tenuata* Burmann 1970, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

L- *Comasphaeridium* cf. *pratulum* Cramer et Diez 1977, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01



### Planche III

- A- *Coryphidium* cf. *almohadillum* Cramer et Díez 1976, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01
- B- *Coryphidium miladae* Cramer et Díez 1976, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01
- C- *Coryphidium elegans* Cramer et al. 1974, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01
- D- *Coryphidium bohemicum* Vavrdová 1972, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01
- E *Coryphidium miladae* Cramer and Díez 1976, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01
- F- *Coryphidium* cf. *almohadillum* Cramer and Díez 1976, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01
- G- *Coryphidium* cf. *miladae* Cramer and Díez 1976, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01
- H- *Coryphidium* cf. *minutum* Cramer and Díez 1976, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01
- I- *Coryphidium* sp. Vavrdová 1972, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01
- J- *Coryphidium* sp. Unité de Bab Azhar, TZK-19-01
- K- *Coryphidium* cf. *miladae* Cramer et Díez 1976, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01
- L- *Coryphidium bohemicum* Vavrdová 1972, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

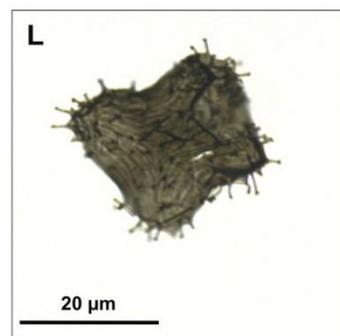
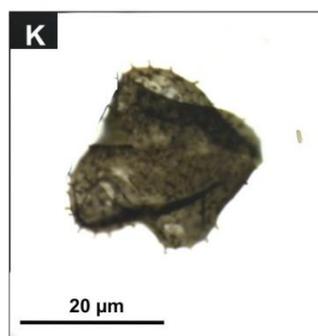
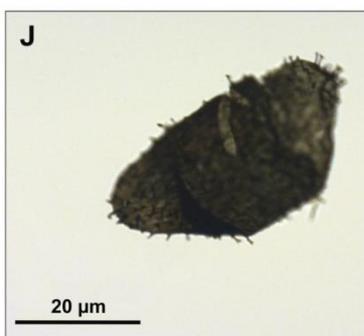
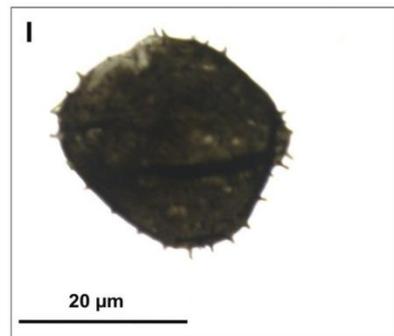
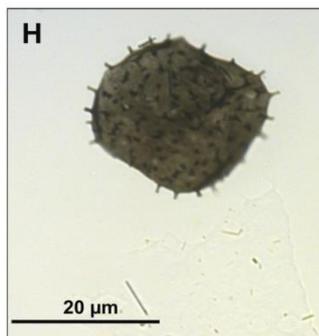
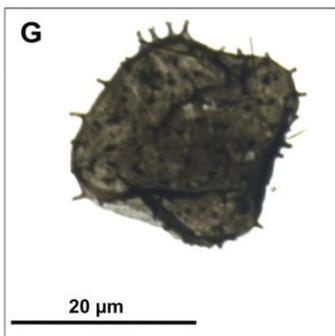
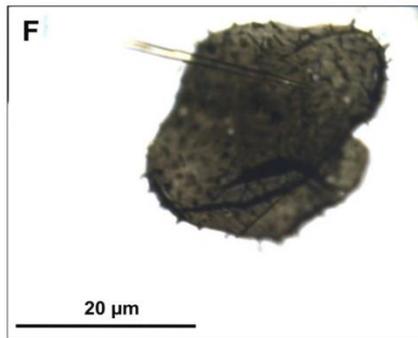
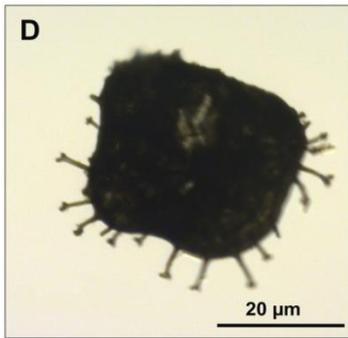
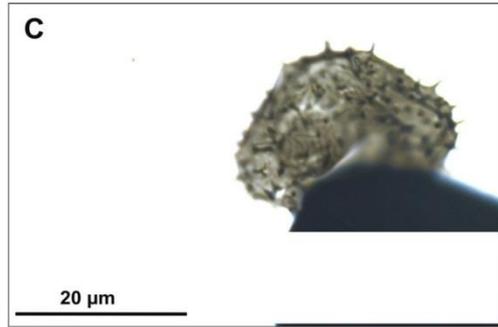
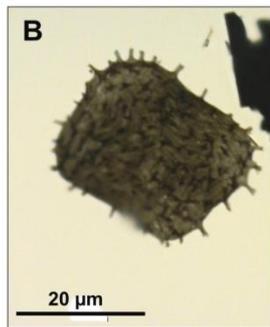


Planche IV

A- *Dicrodiacrodium ancoriforme* Burmann 1968, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

B- *Ericanthea pollicipes* Cramer et Diez 1977, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

C- *Ericanthea pollicipes* Cramer et Diez 1977, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

D- *Ericanthea pollicipes* Cramer et Diez 1977, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

E- cf. *Domasia bispinosa* Downie 1960, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

F- *Estiastra* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

G- Acritarce galeate

H- *Estiastra* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

I- *Dicrodiacrodium ancoriforme* Burmann 1968, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

J- *Estiastra* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

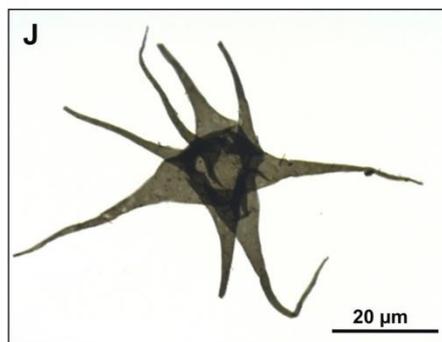
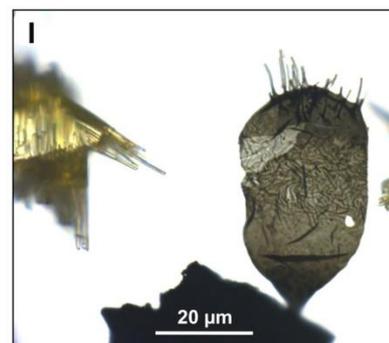
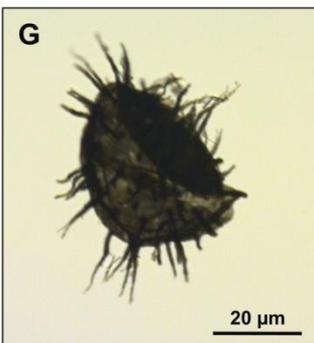
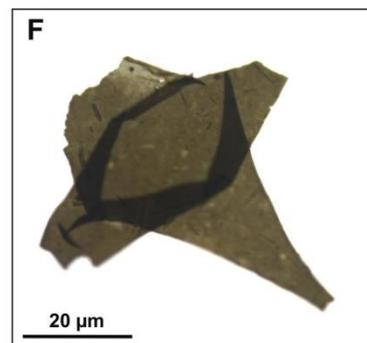
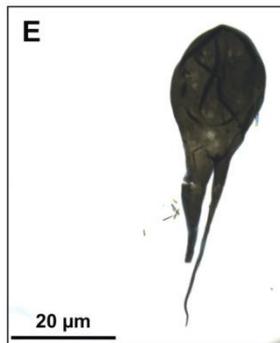
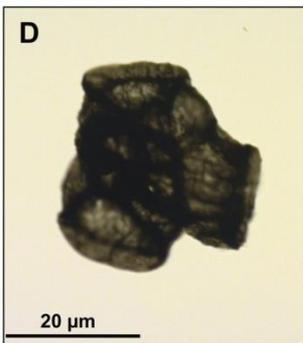
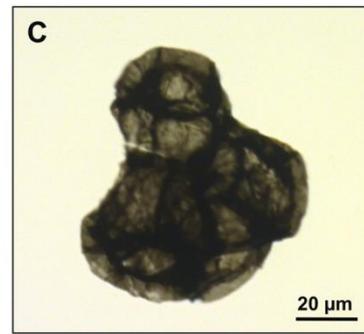
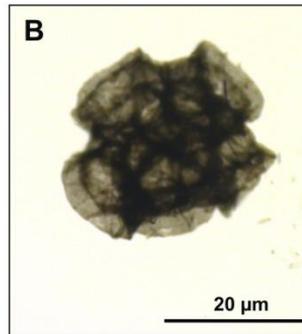
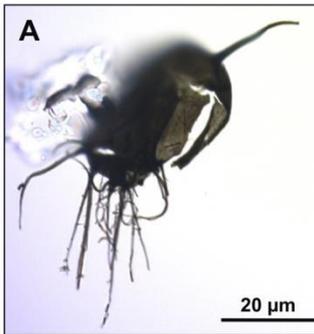


Planche V

A- acritarche *galeate*, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

B- *Lophosphaerididum* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

C- *Impluviculus* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

D- *Stelliferidium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

E- *Impluviculus* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

F- leiosphère, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

G- *Leiofusa* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

H- *Leiofusa* sp, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

I- *Lophosphaerididum* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

J- *Lophosphaerididum* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

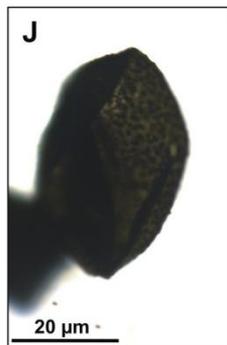
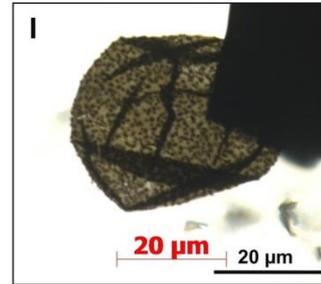
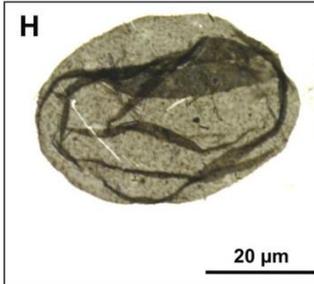
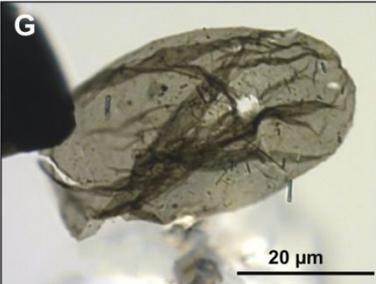
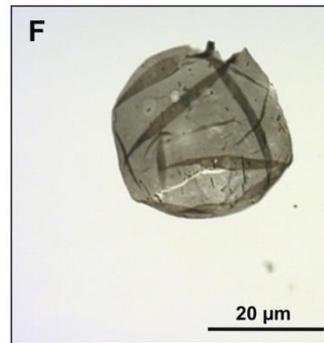
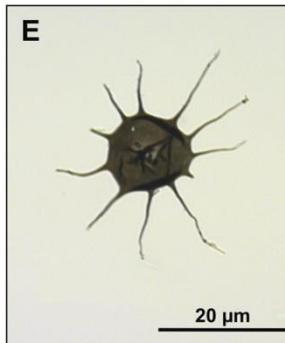
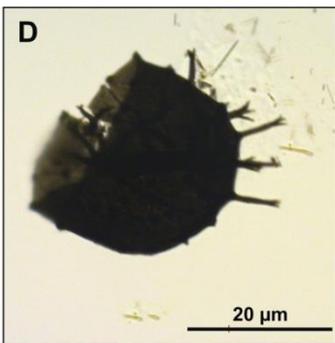
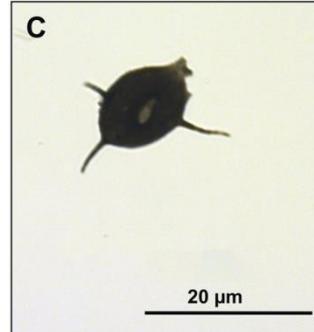
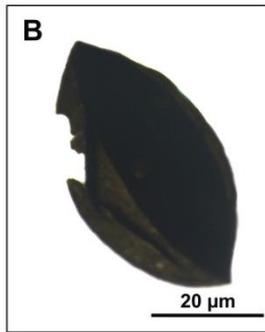
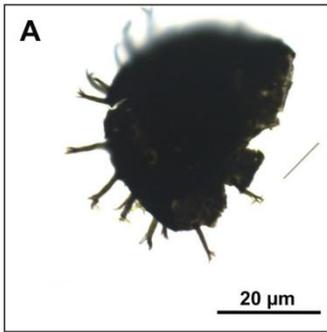


Planche VI

A- *Ordovicidium* cf. *elegantulum*, Tappan et Loeblich 1971, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

B- *Micrhystridium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

C- *Multiplicisphaeridium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

D- *Ordovicidium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

E- *Orthosphaeridium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

F- *Micrhystridium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

G-*Peteinosphaeridium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

H-cf. *Oodium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

I- *Multiplicisphaeridium* sp. Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

J- *Peteinosphaeridium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

K- *Orthosphaeridium octospinosum* Eisenack 1968, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

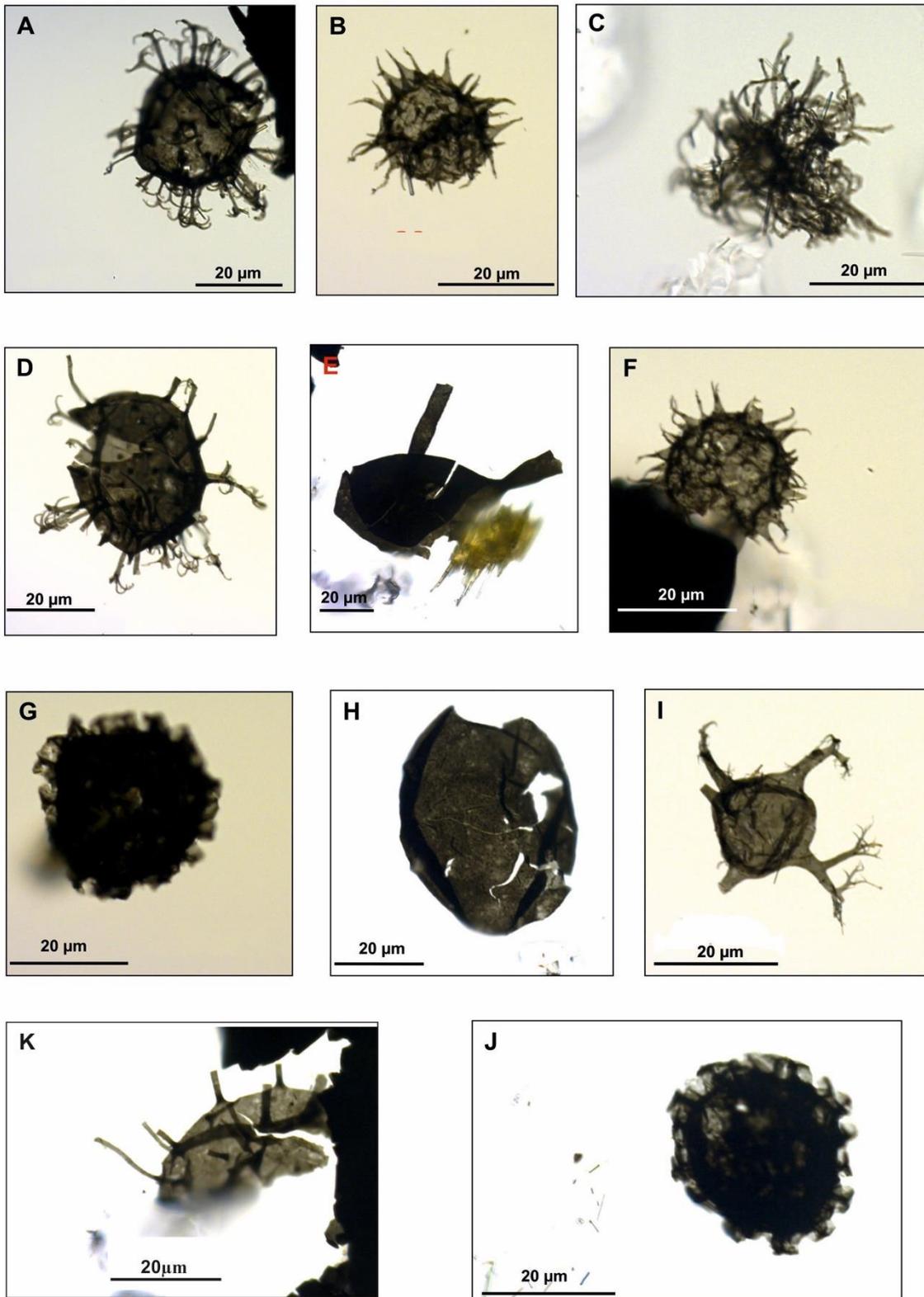


Planche VII

A- *Solisphaeridium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

B- *Polygonium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

C- *Rhopaliophora* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

D- *Solisphaeridium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

E- *Rhopaliophora* sp. , Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

F- *Polygonium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

G- *Polygonium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

H- *Rhopaliophora* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

I- *Rhopaliophora* sp. , Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

J- *Solisphaeridium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

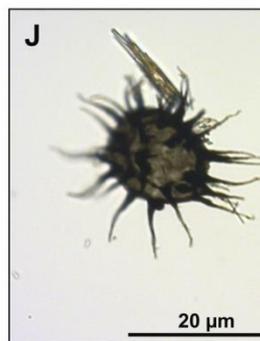
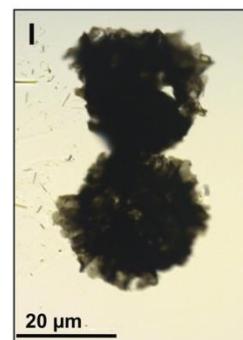
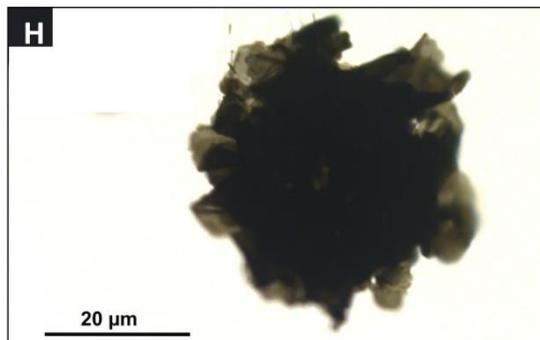
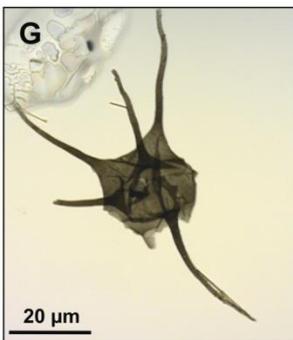
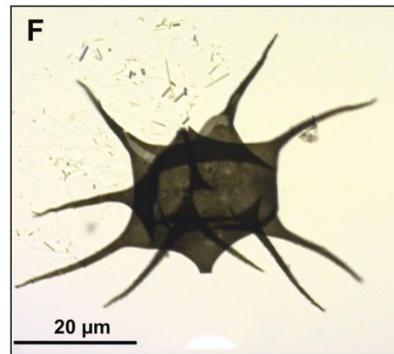
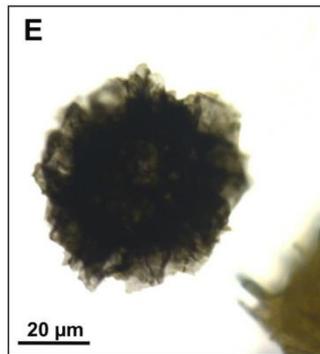
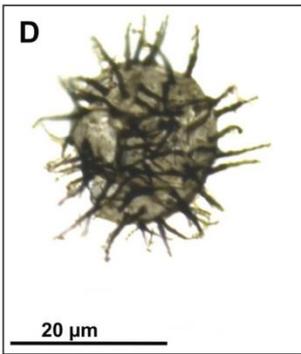
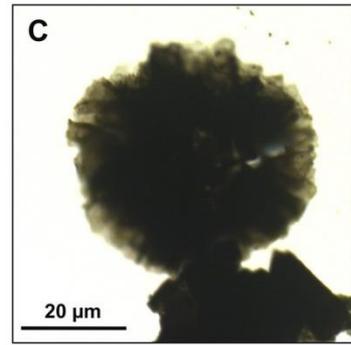
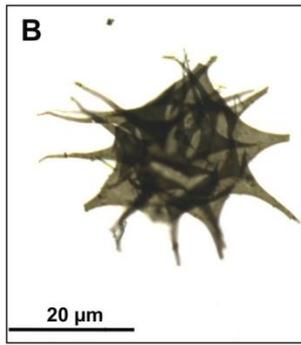
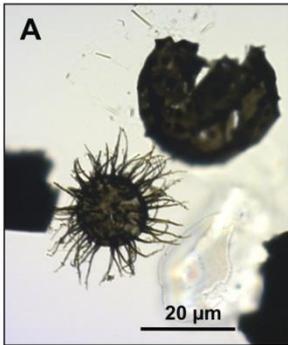


Planche VIII

A- *Striatotheca* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

B- *Striatotheca* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

C- *Striatotheca* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

D- acritarce indéterminé, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

E- acritarce indéterminé, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

F- *Stelliferidium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

G- *Striatotheca* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

H- *Striatotheca* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

I- *Striatotheca* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

J- *Striatotheca* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

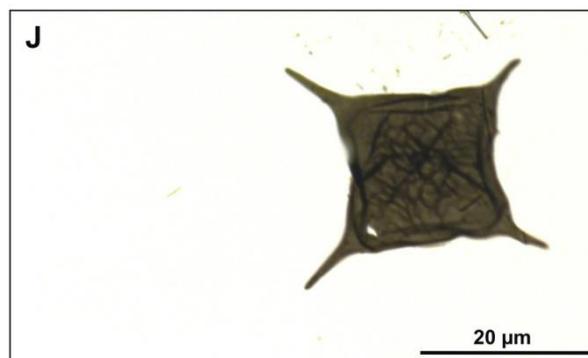
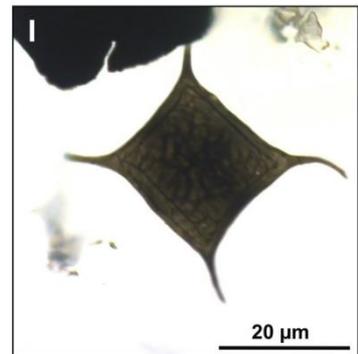
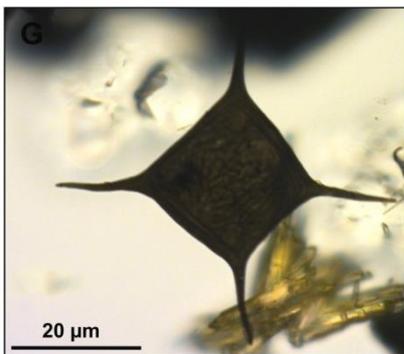
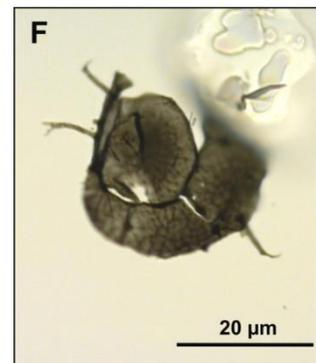
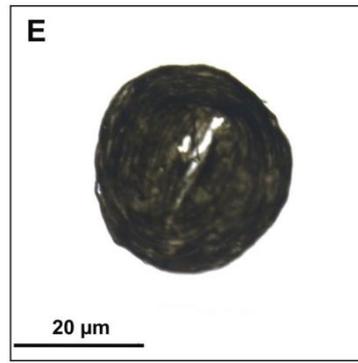
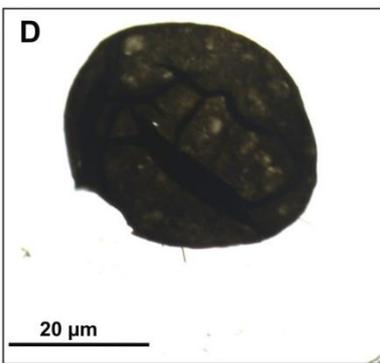
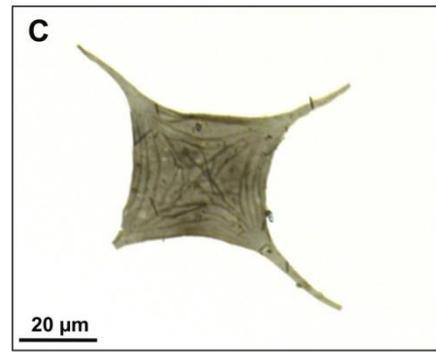
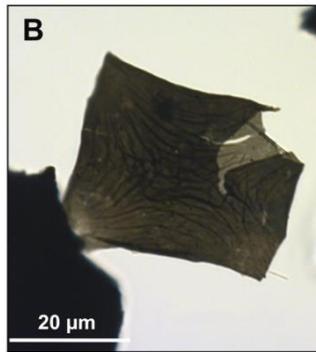
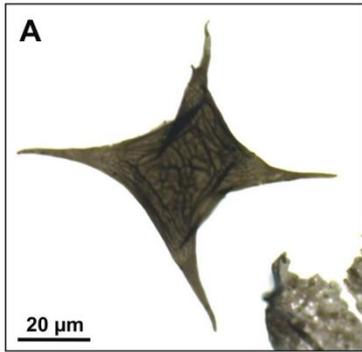


Planche IX

A- *Cristallinium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

B- *Veryhachium trispinosum*, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

C- acritarce indéterminé, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

D- cf. *Pterospermella*, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

E- cf. *Vogtlandia hoffmanensis*, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

F- acritarce indéterminé, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

G- *Sylvanidium* cf. *operculatum*, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

H- *Veryhachium lairdii*, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

I- *Veryhachium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

J- acritarce indéterminé, Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

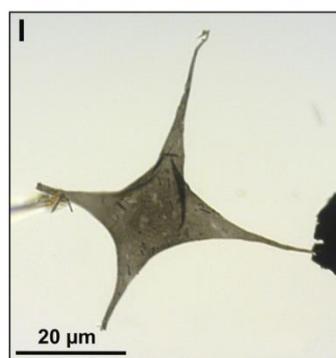
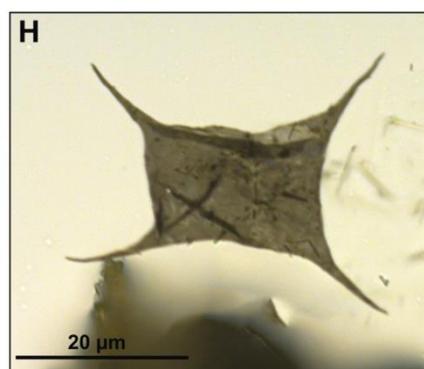
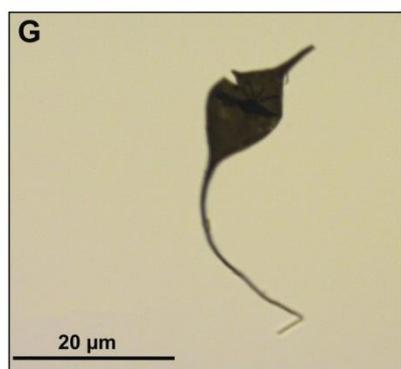
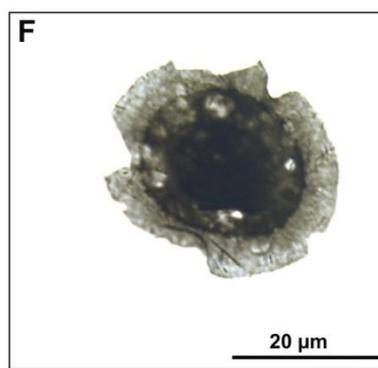
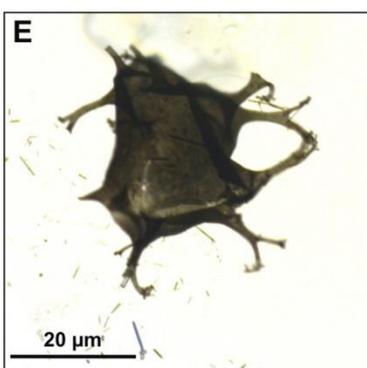
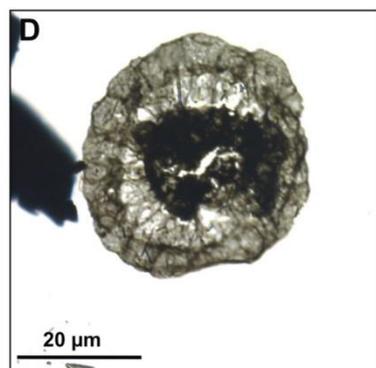
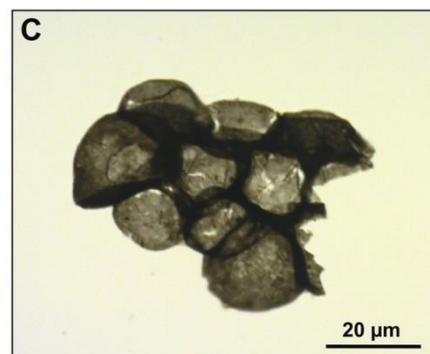
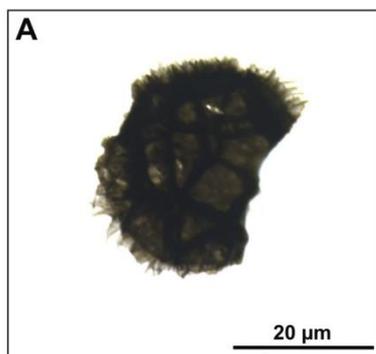


Planche X

A- *Veryhachium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

B- *Vogtlandia* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-02

C- *Villosacapsula* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

D- acritarche Indeterminé, Unité de Bab Azhar, TZK-19-15

E- *Cristallinium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-02

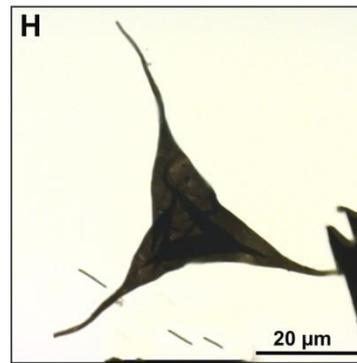
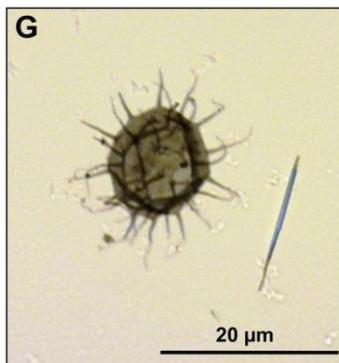
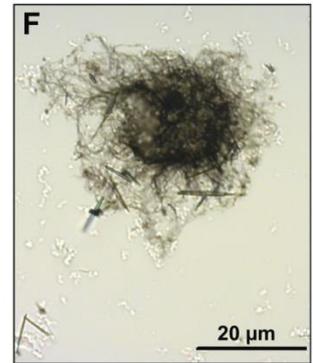
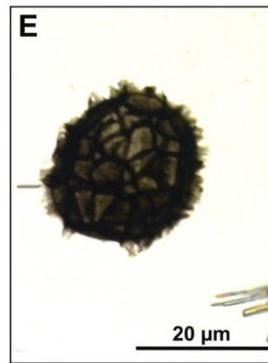
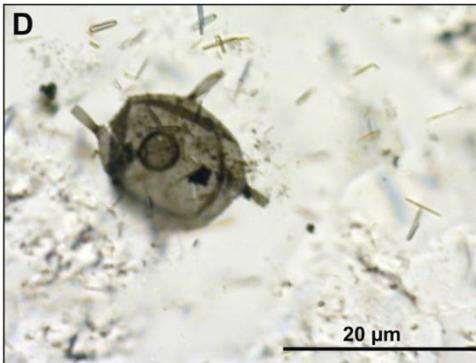
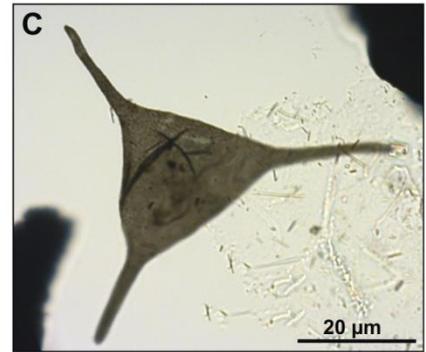
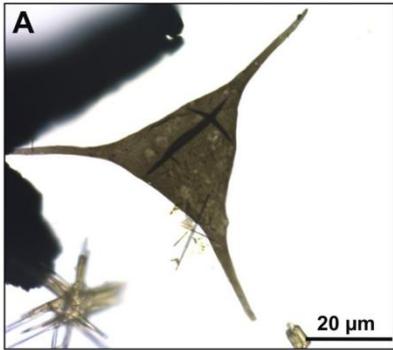
F- acritarche Indeterminé, Unité de Bab Azhar, TZK-19-02

G- *Micritridium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-02

H- *Veryhachium* sp., Unité de Bab Azhar, TZK-19-01

d

Pl. X



**CHAPITRE IV:**  
**LE GENRE D'ACRITARCHE**  
**SAHARIDIA COMBAZ 1967 : UN CILIE**  
**(CILIPHORA) DU CAMBRO-**  
**ORDOVICIEN**

## CHAPITRE IV :

### Le genre d'acritarche *Saharidia* Combaz 1967 : un cilié (Ciliophora) du Cambro-Ordovicien

Chapitre qui va servir à la rédaction d'un manuscrit à soumettre dans *Review of Palaeobotany and Palynology*.

#### Résumé

Une révision du genre d'acritarche *Saharidia* Combaz 1967 a été effectuée sur la base de matériel palynologique provenant de l'Algérie (Hassi R'Mel, sondage NL2) et de l'Iran (Région de Ghelli), ainsi que sur base d'une révision complète de la littérature. Parmi les huit espèces qui existent, deux seulement sont valides ; *Saharidia fragilis*, qui marque l'intervalle Cambrien supérieur-Trémadocien, et *Saharidia munfarida*, enregistrée seulement dans l'Ordovicien Supérieur. *Saharidia fragilis* présente les mêmes caractéristiques morphologiques que le taxon actuel *Halodinium verucatum*, attribué récemment au Ciliées. *Saharidia* marque des environnements marins de faible salinité, proches des côtes.

**Mots clés:** *Saharidia*, Algérie, Iran, biostratigraphie, taxonomie, *Halodinium verrucatum*

#### 1. Introduction

Durant les années 1960, l'étude des acritarches a été accélérée, notamment dans le cadre des applications biostratigraphiques dans les recherches pétrolières. Il s'agit d'une science relativement récente rythmée par les travaux de la deuxième génération de chercheurs travaillant sur le groupe comme, par exemple, Fritz Cramer, Jean Deunff, Charles Downie, et Al Loeblich, Jr. (Servais et Paris 2000). L'étude des acritarches occupait à ce moment une place de plus en plus importante grâce à ses applications pour les datations et les reconstitutions paléogéographiques, environnementales, ainsi que les corrélations régionales et internationales.

L'étude des acritarches permet aussi d'apporter des informations, telles que l'âge et l'environnement, pour des séries sédimentaires, qui jusqu'à présent étaient mal connues et qualifiées d'azoïque. Les études étaient orientées essentiellement vers la biostratigraphie, et ont mis le point sur l'importance de ce groupe pour les datations. Ces progrès ont conduit à la

définition des acritarches comme outil biostratigraphique de référence pour le Paléozoïque (p.ex. Stricanne 2004).

L'étude des acritarches doit être orientée non seulement vers la résolution des problèmes de la géologie, mais aussi vers l'intérieur du groupe, d'où les travaux de révision taxonomique de plusieurs genres et espèces durant les années récentes. On peut citer par exemple, les révisions suivantes: Playford et al. (1995), *Peteinosphaeridium*, *Liliosphaeridium* and *Cycloposphaeridium* ; Servais et al. (1996), *Dicrodiacrodium* ; Servais (1997), *Arkonia–Striatotheca*; Fatka et Brocke (1999), *Arbusculidium* ; Ribecai et al. (2002), *Sacculidium* ; Servais et al. (2007), *Veryhachium* ; Servais et al. (2008), *Coryphidium*, Yan et al. (2010), *Ampullula* ; Li et al. (2014), *Rhopaliophora*; Wang et al. (2015), *Dactylofusa velifera*; Yan et al. (2017), *Barakella* et plus récemment Kröck et al. (2020), *Vulcanisphaera* et Navidi Izad et al. (2020), *Orthosphaeridium*.

Dans la présente étude, le but est de réviser un genre qui n'a pas été abordé par une telle étude dès sa définition par Combaz en 1967 : le genre *Saharida*. On va essayer de souligner l'importance de ce genre sur le plan biostratigraphique et paléogéographique, sur la base des travaux antérieurs et de notre propre analyse.

L'étymologie du mot acritarche vient du grec *akritos* ; incertain, et *arche*; origine. Selon Evitt (1963), les acritarches sont des "*petits microfossiles d'affinités biologiques incertaines et probablement variées...*". La définition même du mot acritarche pose beaucoup de questions, en l'occurrence que sont les acritarches ? Et quelles sont leurs affinités biologiques ? Suite à plusieurs études réalisées, certains palynomorphes ont été retirés du groupe des acritarches, et sont maintenant affiliés à d'autres groupes, en particulier aux dinoflagellés (Colbath et Grenfell 1995; Dale 1977), aux chlorophytes (Kazmierczak et Kremer 2009; Moczyłowska et al. 2011) ou encore aux œufs de copépodes (McMinn et al. 1992 ; Van Waveren et Marcus 1993).

Dans ce travail, nous allons appliquer ce questionnement au genre *Saharidia*, notamment en relation avec la forme actuelle *Halodinium verrucatum* Gurdebeke et al. 2018, attribuée très récemment (Gurdebeke et al. 2018) au groupe des Ciliés.

## 2. Matériel et méthodes

Un matériel de très bonne préservation, qui provient de différentes localités, a été étudié. Il s'agit d'un côté d'échantillons du sondage de référence NL2 dans la région de Bordj Nili (Hassi R'Mel- Algérie), et d'un autre côté d'échantillons de terrain de la région de Ghelli en Iran.

Le matériel utilisé par Combaz (1967) pour définir le genre *Saharidia* provient du sondage Oni 11 au Nord-est du champ pétrolier de Hassi Messaoud du Sahara algérien (Fig. 1). Il s'agit d'échantillons du Trémadocien inférieur, et correspond, par rapport à notre étude, à la partie supérieure de la formation de Bordj Nili avec la partie inférieure de la formation des argiles d'El Gassi. Notons que le passage Cambrien-Ordovicien dans le sondage NL2 se fait au niveau de la formation de Bordj Nili (Vecoli 1999).

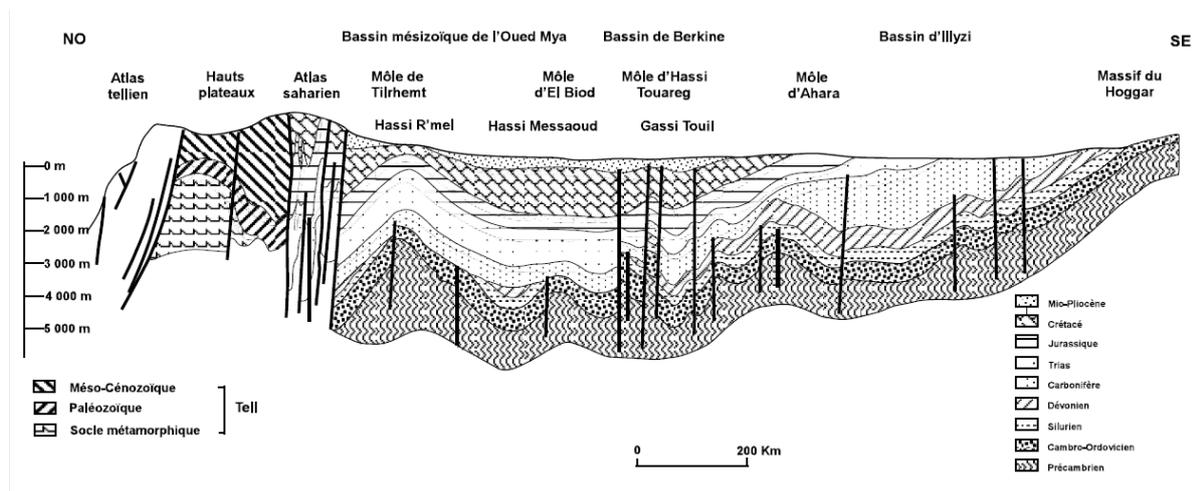


Fig. 1. Corrélation entre les différents bassins du Sahara ; position du matériel étudié (Hassi R'mel) par rapport au matériel type (Hassi Messaoud) (Peterson 1985)

Cette analyse est complétée par une révision de toute la littérature où le genre *Saharidia* été mentionné, allant de 1967 (date de création de ce genre par Combaz) jusqu'à présent.

### 2.1. Contexte géologique du sondage en Algérie

La région de Hassi R'mel se situe dans le nord du Sahara central algérien (Fig. 2). Elle contient un des plus grands réservoirs de gaz en Afrique. Les données géologiques sur cette région proviennent essentiellement des études menées par les compagnies pétrolières. Le

matériel analysé dans cette étude est représenté par 16 échantillons, qui proviennent du sondage NL2, entre 3017.25m et 3094.5m de profondeur, et correspond à deux formations : la formation argilo-quartzitique des Grès de Bordj Nili, qui marque le passage Cambrien-Ordovicien, et la base de la formation des Argiles d'El Gassi, formée de grès grossier, de silts et d'argile (Vecoli 1999). Pour plus d'informations sur la succession lithostratigraphique de la région, le lecteur pourra consulter Whiteman (1971) et Vecoli (1996, 1999).

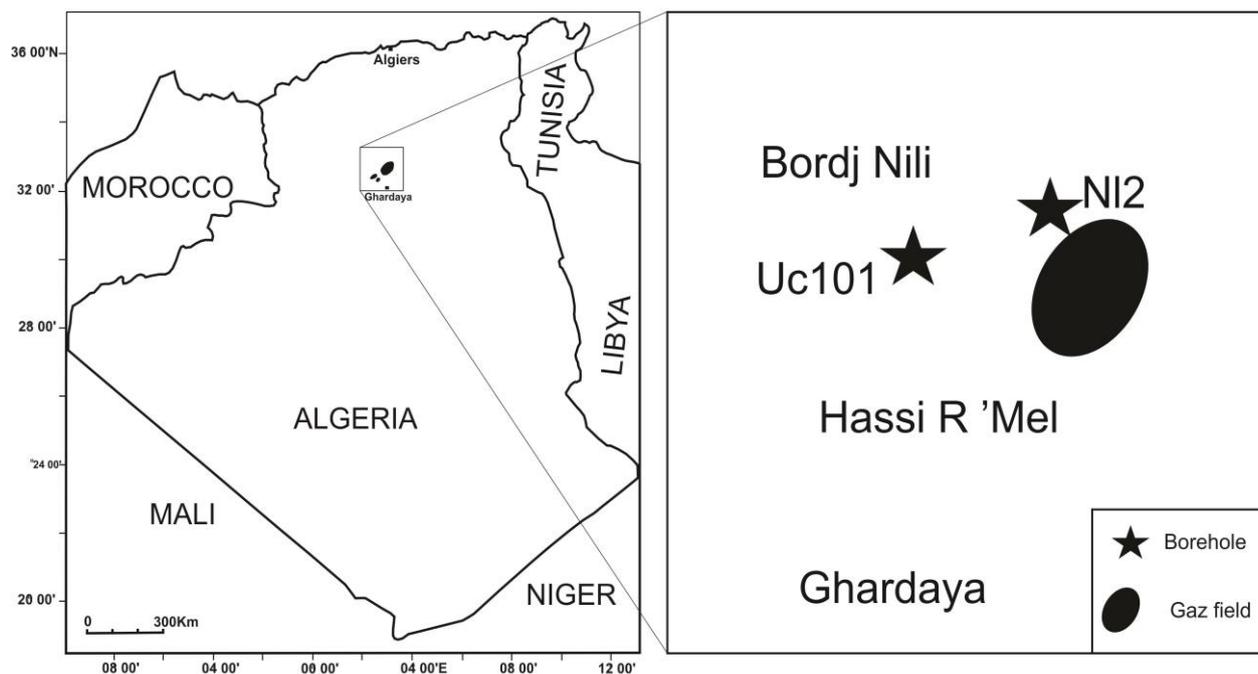


Fig. 2. Localisation des sondages NL2 et UC101

## 2.2. Contexte géologique des échantillons de l'Iran

Le matériel iranien est représenté par 59 échantillons provenant de la région de Ghelli. Cette région est localisée dans le Nord-Est de l'Iran, à environ 40 km au Sud de la ville de Bojnurd, et 50 km au Nord-Est de la ville de Jajarm (Fig. 3). Dans cette région, le Paléozoïque inférieur est représenté par quatre formations, qui sont, de bas en haut, la Formation de Mila, de la Formation Lashkarak, la Formation de Ghelli et enfin la Formation de Niur. Notre investigation a touché les deux premières formations.

La Formation de Mila attribuée au Cambrien Supérieur est composée essentiellement de calcaire. Dans la coupe étudiée, cette formation est incomplète. Elle est recouverte par la Formation de Lashkarak. Cette dernière est composée de silts verdâtres à grisâtres, de schiste

et de fines passées de calcaires et de grès. La Formation de Lashkarak a été attribuée (Ghavidel-Syooki 2006; Kebria-eeZadeh et al. 2015) à l'Ordovicien Inférieur.

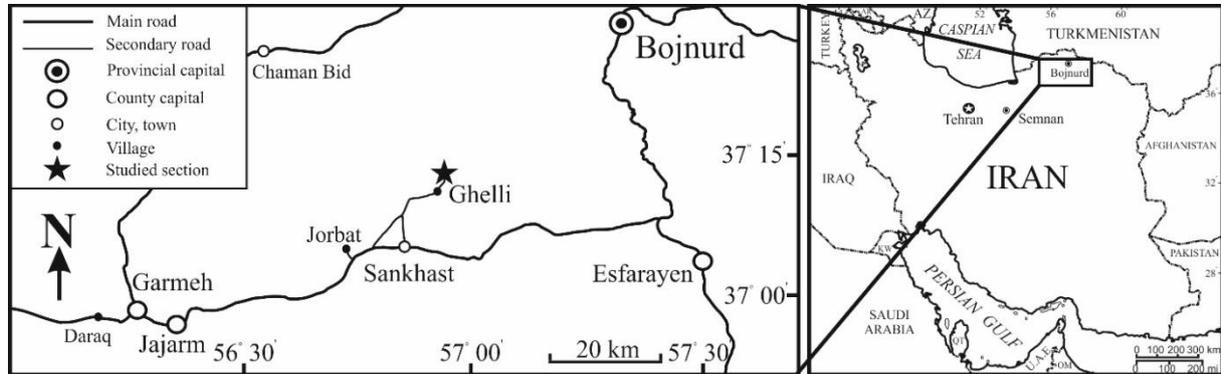


Fig. 3. Situation géographique de la région de Ghelli

### 3. Le genre *Saharidia* Combaz 1967

#### 3.1. Historique

Downie (1958) définissait une nouvelle espèce, *Leiosphaeridia fragile*, pour désigner des acritarches sphéromorphes avec une surface ornée de granules et une présence de pylome central. Par la suite, le genre *Saharidia* a été défini par Combaz (1967), suite à une étude d'un matériel qui provient du sondage Oni 11 dans le Nord-Est du champ de Hassi Messaoud (Sahara central algérien). Ce dernier auteur rangeait dans ce groupe l'espèce *Leiosphaeridia fragile* Downie, 1958, dans un nouveau genre, *Saharidia*, et il proposait une émendation pour *Saharidia fragilis*, ainsi qu'une nouvelle espèce, *Saharidia downiei*. Ce nouveau genre était distingué par sa structure concentrique et la position, toujours centrale, du pylome malgré l'aplatissement, ce qui suggère une forme initiale plus ou moins discoïdale, ou lenticulaire (Combaz 1967). Ce dernier critère est d'une importance capitale pour la distinction de certaines espèces, attribuées ultérieurement au genre *Saharidia* par différents auteurs.

Dans la littérature actuelle, une dizaine d'espèces sont rangées dans le genre *Saharidia*, dont cinq ont été déjà citées dans l'index des acritarches et des prasinophytes fossiles de Fensome et al. (1990), à savoir : *Saharidia downiei* Combaz 1967, *S. fragilis* (Downie 1958) Combaz 1967, *S. lusca* Playford in Playford et Dring 1981, *S. munfarida* Vavrdová 1982 et *S.*

*talacastensis* Melendi et Volkheimer 1982. Dans la plupart des cas, il s'agit soit d'une diagnose mal établie, soit d'une difficulté d'interprétation des positions stratigraphiques, ce qui a poussé les différents auteurs à créer de nouvelles espèces. On va discuter chaque espèce à part plus loin dans ce travail.

### 3.2. Systématique

Groupe ACRITARCHA Evitt 1963

Genre *Saharidia* Combaz 1967

Espèce type. *Saharidia downiei* Combaz 1967

*Description originale.* Coque à contour circulaire, avec un pylome central, toujours observable, égal à environ 1/4 du diamètre, entouré de un ou plusieurs cercles concentriques (replis ou épaississements?). Tégument très mince (1 à 2  $\mu\text{m}$ ) et surface lisse ou finement granuleuse (Combaz 1967).

#### *Description*

De forme discoïdale, avec une ouverture centrale circulaire (pylome), qu'on peut distinguer dans, presque, la majorité des cas, dans la partie ventrale. Tégument très mince, avec une surface lisse, ornée de fines granules et/ou de différentes formes de sculptures ('grana', verrucae'), avec, souvent, la présence de cercles concentriques.

#### *Discussion*

Le genre *Saharidia* Combaz 1967 peut être confondu avec *Grebespora concentrica* Jansonius 1962, observée au Trias (Hankel 1992, Mangerud 1994), mais qui ne possède pas de pylome. Il faut noter aussi que le genre *Saharidia* est caractérisé essentiellement par sa forme "discoïdale". Par conséquent, malgré l'aplatissement de la coque, le pylome garde toujours sa position centrale. Cette position centrale du pylome est un caractère distinctif qui permet de distinguer, et d'exclure de ce genre certains acritarches de formes "sphériques" qui possèdent aussi un pylome. Ces acritarches peuvent présenter, selon l'angle d'observation, des caractéristiques très proches de *Saharidia*, mais si on observe bien les différents spécimens

on peut remarquer l'aspect sphérique de ces acritarches (relief). Après aplatissement le pylome ne garde pas toujours sa position centrale : c'est le cas de *Saharidia talacastensis* Melendi and Volkheimer 1982, *Saharidia iranica* Ghavidel-syooki 2003, et de *Saharidia lusca* Playford 1981 in Playford-Dring 1981.

D'autre part, *Saharidia aurita* Vavrdová 1990 ne correspond pas à la diagnose générique de *Saharidia*. Ses caractéristiques le rapprochent plutôt au genre *Tongzia* (Li 1987) Di Milia and Tongiorgi 1998.

La position stratigraphique admise (reconnue) de *Saharidia* dans le Cambro-Ordovicien a posé aussi un souci pour Turner (1991), qui a identifié une espèce de *Saharidia* qui présente la même morphologie que *Saharidia fragilis*, mais vu sa position stratigraphique dans le Frasnien supérieur au Nord-ouest du Canada, il a créé une nouvelle espèce *Saharidia perplexa* Turner 1991, qui est en réalité un synonyme de *Saharidia fragilis*.

### **Les espèces exclus du genre *Saharidia***

*Saharidia talacastensis* Melendi et Volkheimer 1982 (p. 230, Pl. 2, fig. 14, 15 et 16, fig de texte 9)

*Diagnose originale.*

"*Vesicla de contorno circular. Piloma circular siempre observable. En algunos se conserva un opérculo. Ectofragma chagrenado a microgranulado y/o micro-gemulado. Ocasionalmente se distingue un endofragma levigado; de alrededor de 0.4µm más o menos separado del ectoforma, cuyo espesor es aproximadamente 0.3µm. La pared se halla algo plegada*".

*Traduction de la diagnose originale.*

"Coque à contour circulaire. Pylome circulaire toujours observable. Dans certain cas, un opercule est préservé. Paroi externe, chagriné à microgranules, et/ou microgranulé. Parfois, on distingue une paroi interne séparée; de près de 0.4µm de la paroi externe. L'épaisseur est d'environ 0,3 µm. Le tégument est un peu plié."

*Discussion.*

On peut remarquer dans les figures présentées par Melendi et Volkheimer (1982) de *Saharidia talacastensis* (pl. 2, fig. 14, 15) que cette forme ne peut pas être attribuée au genre *Saharidia* qui présente une seule paroi très mince de 1 à 2µm, tandis que cette espèce présente une paroi double plus ou moins épaisse. *Saharidia talacastensis* présente un pylome plus grand, qui représente le 1/3 du diamètre total, au moment où pour le genre *Saharidia*, le pylome ne dépasse pas le 1/4 du diamètre total. Un dernier caractère différent est la forme sphérique de cette espèce qu'on peut la distinguer clairement dans la figure 14, p. 229.

*Saharidia iranica* Ghavidel-syooki 2003 (p. 264, Pl. 9, fig. 1)

*Description originale.*

"Vesicle is circular, or spheroidal in outline with a thin wall (1-2µm) and cyclopyle opening. The vesicle diameter is 40 × 45µm and the diameter of the cyclopyle is 28× 30µm. Both vesicle and cyclopyle are covered by corrugate ornamentations. *Saharidia iranica* differs from all other species of *Saharidia* in type of ornamentation as well as size range."

*Discussion.*

*Saharidia iranica* présente quelques caractères qui nous permettent de l'exclure du genre *Saharidia*; 1) un tégument épais qui diffère de celui de *Saharidia* qui est très mince, 2) le genre *Saharidia* est caractérisé par une forme discoïdale, tandis que *Saharidia iranica* présente une forme plutôt sphérique, 3) le pylome, si on admet qu'il existe (puisqu'il ne paraît pas clairement dans l'holotype (Pl. 9, fig. 1), la coque présente plutôt des dépliés qui donnent l'aspect d'une ouverture) son diamètre, selon les mesures données par Ghavidel-syooki, présente la majeure partie du diamètre totale de la coque, ce qui n'est pas le cas pour le genre *Saharidia*, où le diamètre du pylome ne dépasse pas le 1/4 du diamètre totale.

*Saharidia lusca* Playford 1981 in Playford et Dring 1981 (p. 54, 56, pl. 14, fig. 9)

*Description originale.*

Vesicle circular in outline. Vesicle wall usually in range of 1.2-1.6µm thick; scabrate, often very faintly so. Excystment opening consists of a cyclopyle (developed centrally on one side of vesicle), lacking a thickened rim but sometimes surrounded by ± concentric or transverse

*folds (presumably as compression effect) in vesicle wall. Ratio of cyclopyle diameter to vesicle diameter variable, 1:2 to 1:4. Operculum may be in situ, slightly displaced, or absent; thickness comparable to that of parent vesicle wall.*

*Discussion.*

Les spécimens de Playford (1981, p. 55, pl. 14, fig. 5-10) ne correspondent pas à la diagnose générique de Combaz (1967); ils se distinguent du genre *Saharidia* par l'épaisseur du tégument (relativement plus épais), le diamètre du pylome qui peut représenter ici jusqu'à 1/2 du diamètre totale de la coque. Les spécimens de Playford présentent des grandes (voire même parfaites) similitudes morphologiques avec certaines espèces du genre *Arcella* Ehrenberg 1832; question qui mérite d'être étudiée plus en détail.

*Saharidia aurita* Vavrdová 1990 (p. 244-245, pl. 4, fig. 1; text-fig. 5)

*Description originale.*

"*Lenticular vesicle of circular to oval outline. Regular concentric flanges limited to peripheral margin of vesicle. Flanges are low, homogenous, in places dissected or invaginated giving rise to irregular fin-like segments. Wall firm, unilayered, surface granular. Equatorial margin, margin of segments and of flanges denticulate. Excystment opening small, in central position, diameter 8-12 $\mu$ m. Vesicle diameter 28-44  $\times$  35-48 $\mu$ m. Height of flanges and segments 3-6 $\mu$ m.*"

*Discussion.*

Cette espèce possède un tégument plus ou moins épais et solide, contrairement à la diagnose du genre *Saharidia*. De plus, l'ornementation de la surface et le contour effiloché de cette espèce (des critères en plus pour l'exclure du genre *Saharidia*) l'approche plutôt du genre *Alicesphaeridium* Zang and Walter 1992.

## Les espèces acceptées dans le genre *Saharidia*

*Saharidia fragilis* (Downie 1958) Combaz 1967

p 13, pl 2, fig 37

*Synonymie.*

1958 *Leiosphaeridia fragile* Downie; p. 344-345, pl. 17, fig. 6.

1967 *Saharidia fragile* (Downie 1958) Combaz ; Combaz, p 117, pl 1, fig. 15 (nom. nud.)

1967 *Saharidia downiei* Combaz , Combaz; p 117, pl 1, fig 16 (nom. nud.)

1967 *Saharidia fragile* (Downie 1958) Combaz , Combaz; p 13, pl 2, fig 37-38

1967 *Saharidia downiei* Combaz , Combaz; p 13, pl 2, fig 35-36

1972 *Saharidia fragile* (Downie 1958) Combaz 1967, Combaz et Peniguel p 129, pl 1, fig 11-12

1978 *Saharidia fragile* (Downie 1958) Combaz 1967; Dean et Martin, pl. 3, fig. 32

1978 *Saharidia fragile* (Downie) Combaz 1967; Richardson et Rasul, p. 448, pl. 7, fig. 2

1979 *Saharidia fragile* (Downie) Combaz; Turner, text-fig. 22 5

1981 *Saharidia fragile* (Downie 1958) Combaz 1967; Martin et Dean; pl. 1, fig. 6

1982 *Saharidia fragile* Combaz; Martin; pl 1, fig. 7

1992 *Saharidia downiei* Combaz ; Martin ; p 28, pl. 7, fig 16-17, 21,

1982 *Saharidia fragile* Combaz; Turner, p. 132, pl. 15, fig. 6

1986 *Saharidia fragilis* (Downie) Combaz; Prasad et Maithy; p. 907 fig. 4,5

1986 *Saharidia downiei* Combaz; Prasad et Maithy; p. 907, fig. 2,3

1990 *Saharidia fragile* (Downie 1958) Combaz 1967; Volkova, p. 81, pl. 12, fig. 12

1991 *Saharidia perplexa* Turner 1991; Turner, p. 1486, Pl. 9, fig. 1-3

?1993 *Saharidia fragilis* Combaz 1967, Fombella et al., pl. 4, fig. 1

- 1995 *Saharidia downiei* Combaz 1967; Ghavidel-Syooki, pl. 1, fig. 1
- 1996 *Saharidia fragilis* (Downie) Combaz 1967; Vecoli, p. 42, pl. 7, fig. 6
- 1999 *Saharidia fragile* Combaz 1967; Volkova, pl. 4, fig. 11
- 2000 *Saharidia fragile* (Downie 1958) Combaz 1967; Parson et Anderson, p. 63-64, pl. 4, fig. 12, 15
- 2000 *Saharidia sp.A* Parson et Anderson, p. 64, figs. 6, 11, 14, ?16
- 2000 *Saharidia downiei* Combaz, 1967; Ghavidel-Syooki, pl. 3, fig. 4
- 2002 *Saharidia fragilis* (Downie 1958) Combaz 1967; Vergel et al., pl. 1, fig. 21
- 2003 *Saharidia fragilis* (Downie 1958) Combaz 1967; Rubinstein, fig. 3 A
- 2004 *Saharidia fragilis* (Downie, 1958) Combaz, 1967; Moczydlowska et al., pl. 3, Fig. 4
- 2004 *Saharidia fragilis* (Downie 1958) Combaz 1967; Moczydlowska et Stockfort, pl. 12, fig. 5, 6
- 2006 *Saharidia fragilis* (Downie) Combaz 1967; Molyneux et al., pl. 1, fig. 12
- 2006 *Saharidia fragilis* Combaz; Araoz et Vergel fig 6N
- 2009 *Saharidia fragilis* (Downie 1958) Combaz 1967; Araoz, p. 79, fig. 10-L

*Holotype.* Combaz 1967, p 13, pl 2, fig 37

#### *Description.*

Coque de forme discoïdale, de contour circulaire à ellipsoïdale, de tégument mince, avec une ouverture (pylome) centrale qui mesure environ le 1/4 du diamètre totale de la coque. Dans la majorité des cas on remarque la présence des cercles concentriques (replis). La surface est plus ou moins ornée de fines granules.

#### *Dimensions.*

La dimension de la coque peut varier entre 60 et 120  $\mu\text{m}$ . Le pylome mesure entre 14 et 30  $\mu\text{m}$ . L'épaisseur du tégument ne dépasse pas les 2  $\mu\text{m}$ . Ces valeurs nous donnent des rapports entre les diamètres du pylome et celle de la coque comprises entre 1/4 à 1/6.

*Remarques.*

Combaz (1967) a créé l'espèce *Saharidia downiei* pour désigner une espèce de *Saharidia*, qui présente une surface relativement lisse par rapport à *Saharidia fragilis*, menée d'une surface ornée de fine granules. En réalité, la distinction entre ces deux espèces peut parfois être très difficile, voire même impossible, cela revient au fait qu'en réalité, l'aspect de la surface (seule critère de distinction) de *Saharidia downiei* n'est pas tout à fait lisse. Elle présente de fines granules plus ou moins dispersées, donc moins dense, ce qui donne l'impression d'une surface plus ou moins lisse à *Saharidia downiei* (Holotype, pl. 2, Fig. 35). Au même temps, *Saharidia fragilis* (Holotype, pl. 2, Fig. 37) peut présenter une densité de granules moins importante, ce qui va donner le même aspect que *Saharidia downiei*. Ainsi, ce critère ne peut être retenu pour distinguer ces deux dernières, qui en réalité représentent la même espèce; *Saharidia fragilis*.

Turner (1991) a créé l'espèce *Saharidia perplexa* qui a la même diagnose que *Saharidia fragilis*, et qui représente en réalité la même espèce *Saharidia fragile*. Le seul problème, rencontré par cet auteur, qui l'a poussé à créer une nouvelle espèce, est sa position stratigraphique dans le Dévonien Supérieur (Frasnien), au moment où *Saharidia fragilis* n'a jamais été enregistrée au-delà de l'Ordovicien Moyen.

*Saharidia munfarida* Vavrdová 1982

(p. 341-342, pl. 2, fig. 6, text-fig. 2)

*Synonymie.*

1982 *Saharidia munfarida* Vavrdová, p. 341-342, pl. 2, fig. 6, text-fig. 2

*Holotype.* Vavrdová 1982, pl. 2, fig. 6, text-fig. 2

*Description originale.*

"Vesicle of oval to circular outline, with flattened central body of lenticular shape, provided with concentric flanges or folds. Vesicle wall smooth to microgranulate, ornamented with grana, verrucae, rugulae or vermiculate distributed in several concentric zones. Excystement opening circular, roughly 1/4 of vesicle diameter, in characteristic central position."

### *Discussion.*

Cette espèce a été créée par Vavrdová (1982) à partir d'un matériel qui provient de la formation de Kosov, en Bohême (République Tchèque). Sa position stratigraphique dans l'Ordovicien Supérieur n'est pas certaine (les spécimens sont probablement remaniés). *Saharidia munfarida* n'a été mentionnée dans la littérature que rarement, par Vavrdová en République Tchèque, et par Vecoli et Le Hérissé (2004) dans le Sahara algérien. De notre côté, on n'a pas pu trouver des spécimens de *Saharidia munfarida* dans nos échantillons, pour cela, les descriptions et les interprétations de cette espèce ont été faites sur la base des données publiées dans la littérature.

#### **4. Affinité biologique de *Saharidia***

Evitt (1963) a introduit le terme 'Acritarches' pour regrouper tous les palynomorphes qu'on ne peut pas attribuer, avec certitude, à un des groupes étudiés en palynologie (comme les grains de pollen, les kystes de dinoflagellés, les miospores, etc.).

Toutefois, certains genres d'acritarches ont été affiliés à d'autres groupes dont l'affinité biologique est mieux connue. Très récemment, Gurdebeke et al. (2018), sur la base d'analyse moléculaire (rDNA) a pu montrer que l'espèce *Halodinium verrucatum* sp. nov., échantillonnée dans les sédiments de surface en Bretagne, dans le Skagerrak et dans la Mer Baltique, appartient au groupe des Ciliés (phylum Ciliophora), et plus précisément à l'ordre Prorodontida. Cette affiliation au Ciliés est appuyée par la présence de micro- et macro-nucleus.

Pour confirmer ces premiers résultats, Gurdebeke et al. (2018) ont procédé à une évaluation de la nature chimique des parois de cette espèce, par micro-FTIR, et qui était similaire à certaines espèces de Ciliés.

*Diagnose de Halodinium verrucatum* Gurdebeke et al. 2018.

*"Bilayered, polar compressed cyst with circular to subcircular (average diameter ~70 μm) outline in polar view. Central body (average diameter ~57 μm) ornamented with low ridges forming irregular reticulum; covered over the polar region with a thin, hyaline outer layer ornamented with discrete, bifurcating sculptural elements appearing as verrucae in LM. Near margin of central body portion, outer layer forms a wrinkled, diaphanous collar-like flange with a varying width. Central pylome with thickened rim and without operculum."*

*Saharidia fragilis* présente une parfaite similitude morphologique avec *Halodinium verrucatum*: forme discoïdale, présence de cercles concentriques, la forme, la position et la taille du pylome et même l'ornementation de la surface; donc *Saharidia fragilis* et *Halodinium verrucatum* pourraient représenter la même espèce. Des analyses moléculaires sont évidemment difficiles sur le matériel fossile, par contre des études biochimiques sur *Saharidia fragilis* pourraient appuyer et confirmer cette hypothèse. Par contre, une telle étude demande un matériel dans un excellent état de préservation.

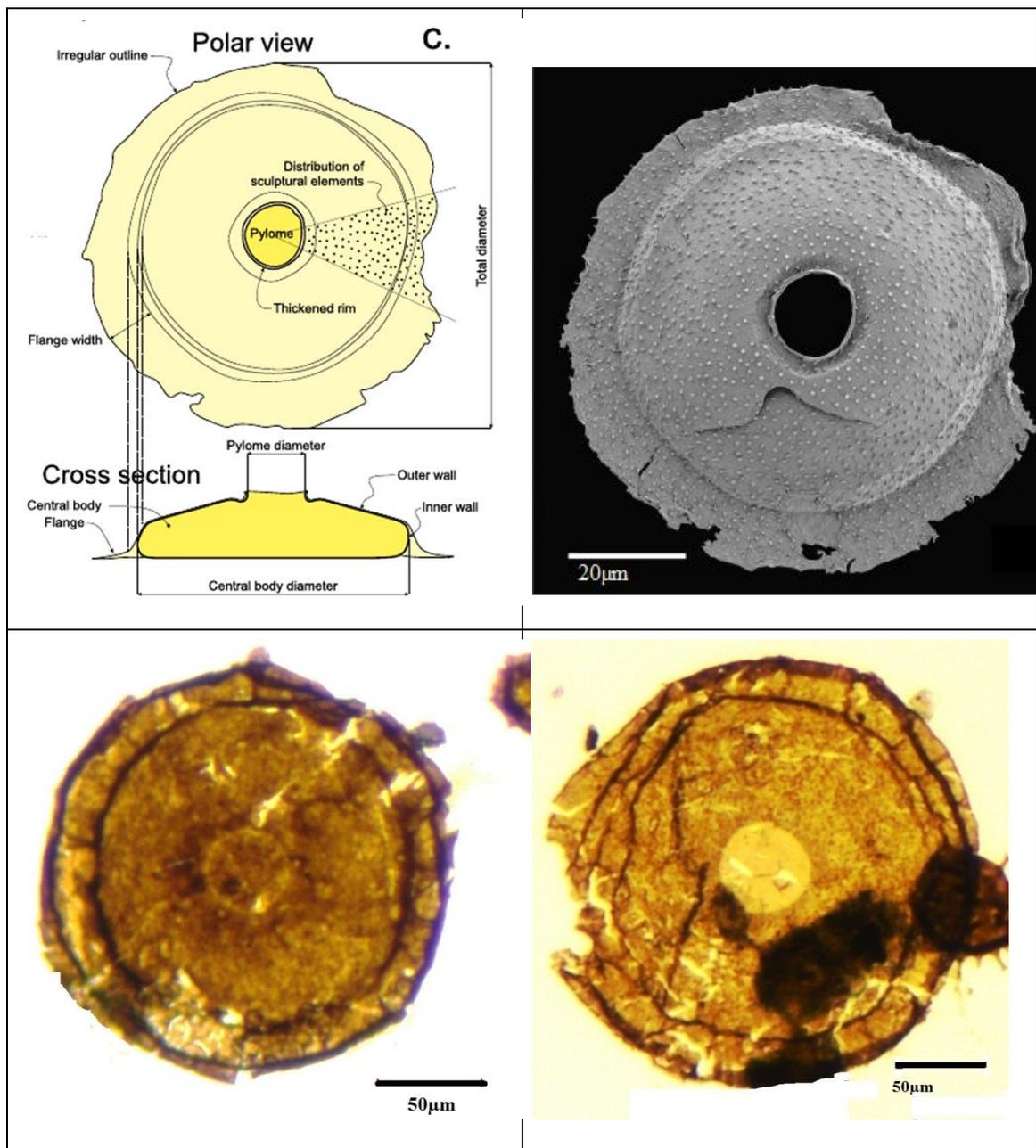


Fig. 4. 1, 2; *Halodinium verrucatum* Gurdebeke et al. (2018, fig. 2C, fig. 4a) 3,4; *Saharidia fragilis* Combaz 1967

## 5. Biostratigraphie, paléogéographie et paléoécologie de *Saharidia*

### 5.1. Biostratigraphie

La distribution stratigraphique des espèces du genre *Saharidia* Combaz 1967 a été faite sur la base des espèces admises (après révision) dans ce travail. On a pu revoir toutes les occurrences décrites dans la littérature. Seules les occurrences avec des assignations stratigraphiques définies sont incluses.

De même, les cartes paléogéographiques ne prennent en compte que les occurrences comportant des assignations stratigraphiques plus détaillées et des localités.

*Saharidia fragilis* caractérise essentiellement le Cambrien supérieur-Ordovicien Inférieur/Moyen (Fig. 5), mais l'espèce a été enregistrée dans le Frasnien supérieur dans l'ouest du Canada, par Turner (1991), et vu qu'elle n'a pas été signalée avant au-delà du Cambro-Ordovicien, il a pensé qu'il s'agissait d'une nouvelle espèce, qu'il l'a nommée '*Saharidia perplexa*', qui n'est en réalité que *Sahardia fragilis* (voir plus haut).

*Saharidia fragilis* est enregistrée dans le Cambrien supérieur-Trémadocien inférieur : au Sahara algérien (Combaz 1967; Jardiné et al, 1974; Vecoli 1996, 1999, Vecoli et al. 1995, 1999), en Tunisie (Vecoli 2004), en Libye (Bonnetfour 1972, Deunff et Massa 1975), en Espagne (Fombella 1986, 1987; Fombella et al. 1993), au Canada (Martin 1978, 1982, 1992; Martin et Dean 1988; Parsons et Anderson 2000). Elle marque aussi cette période en Russie (Volkova 1990, 1999, Moczydlowska et al. 2004, Moczydlowska et Stockfors 2004). En Iran, *Saharidia fragilis* (Ghavidel-Syooki 1996, 2000, 2001; Mehrjerdi 2001) est enregistrée dans le Cambrien supérieur -Trémadocien, et jusqu'à l'Arénig inférieur (Ghavidel-Syooki 1995).

En France, *Saharidia fragilis* est signalée seulement dans le Trémadocien (Martin 1972), tandis qu'en Belgique (Herbosch et al. 1991) et en Angleterre (Rasul et Downie 1974) elle marque sa première apparition au Cambrien terminal, et elle est enregistrée durant tout le Trémadocien. En Argentine, tous les travaux publiés par les différents auteurs (Vergel et al. 2002, 2007, 2008; Araoz 2009; Araoz et Vergel 2006) sur ce sujet indiquent un âge Trémadocien pour les couches qui contiennent *Saharidia fragilis*. En Bolivie (Vergel et al. 2013), en Inde (Prasad et Maithy 1986) et en Irak (Babah et Lawa 2016) *Saharidia fragilis* est enregistrée au Trémadocien, mais elle marque sa première apparition au Cambrien supérieur. En Australie (Combaz et Péniguel 1972) et en République Tchèque (Vavrdová 1972), *S.*

*fragilis* est enregistrée dans l'Arénig. Molyneux et al. (2006) ont signalé la présence de *S. fragilis* dans le Trémadocien de la région de Haima, Oman.

On peut conclure que *Saharidia fragilis* marque essentiellement le passage Cambrien supérieur - Trémadocien dans la plupart des régions, sauf en Australie et en République Tchèque où elle apparaît plus tard dans l'Arénig. Concernant *Saharidia munfaridia*, l'espèce a été enregistrée seulement dans l'Ordovicien Supérieur (Ashgillien), en République Tchèque (Vavrdová 1982, 1988), mais cette distribution stratigraphique n'est pas certaine, parce qu'elle existe avec du matériel remanié, plus ancien (Trémadocien). *S. munfarida* est enregistré aussi dans l'Ashgillien du Sahara algérien (Vecoli et Le Hérisse 2004).

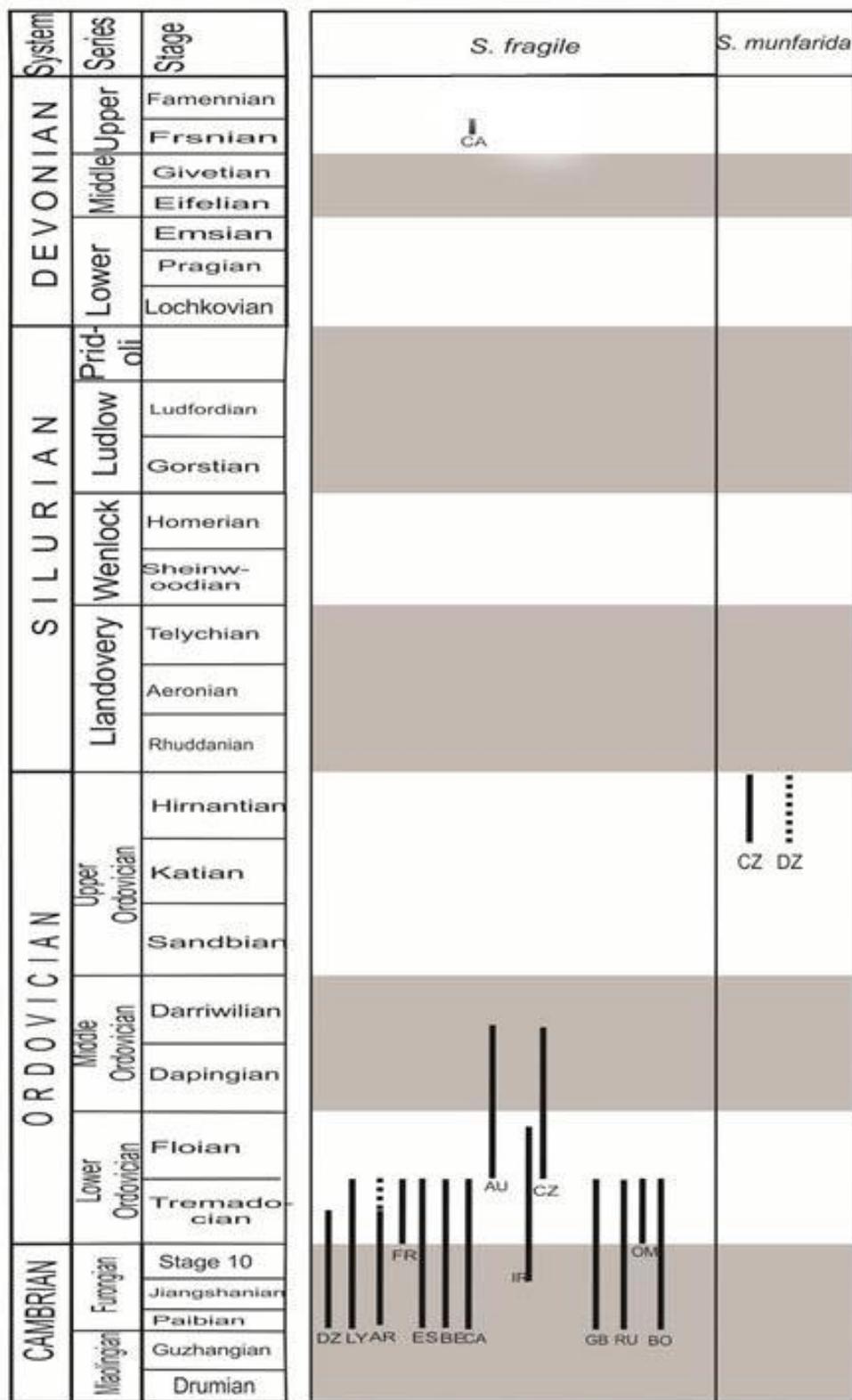


Fig. 5. Répartition stratigraphique des différentes espèces de *Saharidia*

CZ; République Tchèque, DZ; Algérie, LY; Libye, AR; Argentine, FR; France, ES; Espagne, BE; Belgique, CA; Canada, GB; Grande-Bretagne, RU; Russie, AU; Australie, IR; Iran, OM, Oman, BO; Bolivie

## 5.2. Paléogéographie

Les occurrences de toutes les espèces de *Saharidia* ont été utilisées pour retracer la distribution paléogéographique du genre. Ces reconstitutions sont basées sur les cartes paléogéographiques tracées à l'aide du Logiciel Gplates, version 2.1.0.

Seules les points de la distribution paléogéographique de l'espèce *Saharidia fragilis* ont été indiqués. On a choisi la carte paléogéographique du Furongien, vu sa large distribution durant cette période.

*Saharidia fragile* fait son apparition durant le Cambrien supérieur (Furongien) où elle était essentiellement enregistrée dans les provinces péri-gondwaniennes (Fig. 6), et sur le paléocontinent Baltica.

### 5.2.1. Gondwana

*Saharidia fragilis* est enregistré du Cambrien supérieur (Furongien) jusqu'à l'Arénig (Darriwilien) en Afrique: Sahara algérien (Combaz 1967; Jardiné et al. 1974; Vecoli 1996, 1999 ; Vecoli et al. 1995, 1999), Tunisie (Vecoli 2004), Libye (Bonnetfour 1972, Deunff et Massa 1975); en Europe : Espagne (Fombella 1986, 1987; Fombella et al 1993), France (Martin 1972), Belgique (Herbosch et al. 1991), en Angleterre (Rasul et Downie 1974; Downie 1984), la République tchèque (Vavrdová 1972); en Asie: Iran (Ghavidel-Syooki 1995, 1996, 2000, 2001; Mehrjerdi 2001), Inde (Prasad et Maithy 1986), Iraq (Babah et Lawa 2016), Oman (Molyneux et al. 2006); en Amérique du Sud : Argentine (Vergel et al. 2002, 2007, 2008; Araoz 2009; Araoz et Vergel 2006), Bolivie (Vergel et al. 2013), au Canada (Martin 1978, 1982, 1992; Martin et Dean 1988; Parsons et Anderson 2000), en Australie (Combaz et Peniguel 1972)

### 5.2.2. Baltica

*Saharidia fragilis* est enregistrée au Cambrien supérieur - Trémadocien inférieur en Russie (Volkova 1990, 1999, Moczydlowska et al. 2004, Moczydlowska et Stockfors 2004).

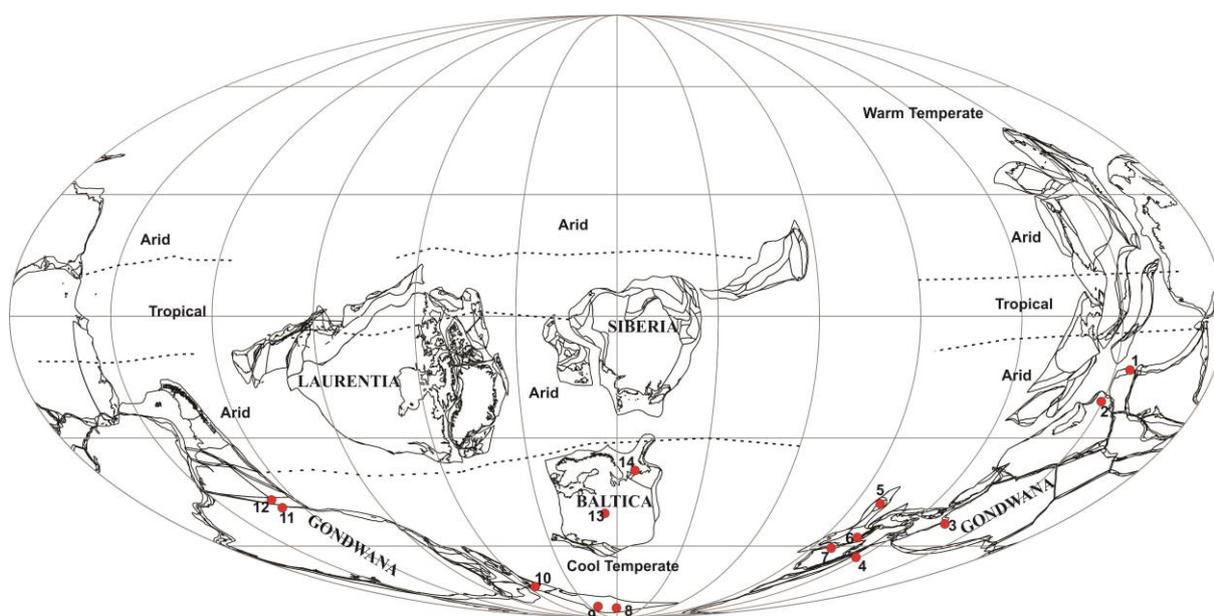


Fig. 6. Répartition paléogéographique de *Saharidia fragilis* durant le Furongien.

D'autre part, *Saharidia munfarida* est enregistrée exclusivement dans l'Ordovicien Supérieur (Ashgillien) dans seulement deux localités dans la bordure gondwanienne; République Tchèque (Vavrdová 1982, 1988) et dans le Sahara algérien (Vecoli et le Hérissé 2004).

### 5.2.3. Paléoécologie de *Saharidia*

Le genre *Saharidia* peut parfois complètement dominer les populations d'acritarches dans certains environnements. On peut aussi trouver de tels environnements dominés par des acritarches sphéromorphes.

Pour Combaz (1967) l'apparition des *Saharidia* marque le début de la phase transgressive trémadocienne. Les *Saharidia* peuplent, avec les leiosphères "les côtes basses où la matière organique provient probablement des débris d'algues benthoniques non calcaires" (Combaz 1967).

*Saharidia fragilis*, avec d'autres palynomorphes, comme *Acanthodiacrodium angustum*, *Attritasporites* et *Virgatasporites*, semble être limité aux régions proximales à l'environnement néritique interne (Vecoli 2000).

D'autre part, les données sur *Halodinium verrucatum* suggèrent des présences dans des milieux estuariens avec des eaux marines saumâtres (Aure et al. 1993).

Si les données sur le matériel fossile (*Saharidia*) correspondent au matériel récent (*Halodinium*), on pourrait envisager que *Saharidia fragilis* caractérise un milieu marin côtier de salinité généralement faible, probablement estuaire.

### *Saharidia munfarida*

Les données sur *Saharidia munfarida* sont très limitées; Vecoli et Le Hérisse (2004) affirment qu'une association de *Saharidia munfarida* avec *Eupoikilofusa platynetrella*, *Veryhachium mareki* et *Veryhachium subglobosum* indique l'Ordovicien terminal (Hirnantien), mais les conditions paléoécologiques restent peu connues.

## **6. Conclusion**

Suite à une révision du genre *Saharidia* Combaz 1967, basée sur l'étude d'un matériel qui provient du Sahara algérien (Hassi R'Mel) et de l'Iran (Région de Ghelli) ainsi que sur l'analyse des occurrences des espèces *Saharidia* dans la littérature actuelle, on a pu tirer les conclusions suivantes :

-Parmi les huit espèces décrites dans la littérature, deux seulement peuvent être retenues; *S. fragilis* et *S. munfarida*.

-Biostratigraphiquement, *S. fragilis* marque la fin du Cambrien et le début de l'Ordovicien, et *S. munfarida* est enregistrée dans l'Ordovicien Supérieur (Hirnantien).

- *Saharidia fragilis* présente des caractères morphologiques très similaires à une forme actuelle, *Halodinium verrucatum*, qui a pu être attribuée au Ciliés.

- *Saharidia fragilis* est enregistrée dans des environnements de faible salinité, proches des rivages.

## Références bibliographiques

- Aráoz, L. (2009). Microfloras ordovicicas en Sierra de Zenta, Cordillera Oriental Argentina. *Serie Correlación Geológica*, 25, 37-94
- Aráoz, L., & Vergel, M. del M. (2006). Palinología de la transición cambro-ordovícica en Quebrada de Moya, Cordillera Oriental, Argentina. *Revista Brasileira de Paleontología*, 9(1), 1–8.
- Aure, J., Føyn, L., & Pettersen, R. (1993). Environmental monitoring of Norwegian fjords. *Fisken of Havet* 12, 35 pp.
- Babah, D. H., & Lawa, F. A. (2016). Palynological and stratigraphical evidences on the age of the outcropped Khabour Formation near Chalki Nasara Village. *Kurdistan Region, Northern Iraq: Journal of Zankoy Sulaimani, Part-A, Special Issue, GeoKurdistan II*, 293–318.
- Bonnefour, J. (1972). Geology of the quartzitic “Gargaf Formation” in the Sirte Basin, Libya. *Centre de Recherches de Pau, Société Nationale des Pétroles d'Aquitaine, Bulletin*. 6(2): 225-261.
- Colbath, G. K., & Grenfell, H. R. (1995). Review of biological affinities of Paleozoic acid-resistant, organic-walled eukaryotic algal microfossils (including “acritarchs”). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 86(3–4), 287–314.
- Combaz, A. (1967). Sur un microbios d’âge Trémadocien à Hassi-Messaoud. *Act. Soc. Linn. Bordeaux., Spec. Vol., Congr. Assoc. Fr. Av. Sci.(AFAS)*, 115–119.
- Combaz, A., & Péniguel, G. (1972). Étude palynostratigraphique de l’Ordovicien dans quelques sondages du Bassin de Canning (Australie Occidentale). *Bulletin Du Centre de Recherches Pau-SNPA*, 6, 121–167.
- Dale, B. (1977). New observations on *Peridinium faeroense* Paulsen (1905), and classification of small orthoperidinioid dinoflagellates. *British Phycological Journal*, 12(3), 241–253.
- Dean, W. T., & Martin, F. (1978). Lower Ordovician Acritarchs and Trilobites from Bell Island, Eastern Newfoundland. *Geological Survey of Canada*. 284, 35 pp.

- Deunff, J., & Massa, D. (1975). Palynologie et stratigraphie du Cambro-Ordovicien (Libye nord-occidentale). *Comptes Rendus Hebdomadaires des Szances de l'Academie des Sciences Serie D Sciences Naturelles*, 281(1), 21–24.
- Downie, C. (1958). An assemblage of microplankton from the Shineton Shales (Tremadocian). *Proceedings of the Yorkshire Geological Society*, 31(4), 331–350.
- Downie, C. (1984). Acritarchs in British Stratigraphy. *Geological Society of London, Special Reports*, 17. Blackwell Scientific, Oxford.
- Evitt, W. R. (1963). A discussion and proposals concerning fossil dinoflagellates, hystrichospheres, and acritarchs, II. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 49(3), 298.
- Fatka, O., & Brocke, R. (1999). Morphologic variability in two populations of *Arbusculidium filamentosum* (Vavrdová 1965) Vavrdová 1972. *Palynology*, 23(1), 153–180.
- Fensome, R.A.; Williams, G.L.; Barss, M.S.; Freeman, J.M. & Hill, J.M., (1990). Acritarchs and fossil prasinophytes; an index to genera, species and infraspecific taxa. *Contributions Series American Association of Stratigraphic Palynologists*, 771 pp.
- Fombella Blanco, M. (1986). El tránsito Cambrico-Ordovícico, palinología y diacronismo, provincia de León, NO de España. El Tránsito Cambrico-Ordovícico, Palinología y Diacronismo, Provincia de León, *NO de España*, 18(2), 165–179.
- Fombella Blanco, M. (1987). Resemblances and differences between the palynological associations of Upper Cambrian in the NW of Spain (Vozmediano) and North of Africa. *Revue de Micropaléontologie*, 30(2), 111–116.
- Fombella Blanco, M. A., Barrera, R. M. V., González, M. D. F., & Santos, L. J. C. (1993). Diferencias de composición en las asociaciones de acritarcos de seis localidades de la Formación Oville (NO de España). Edad Cámbrico Medio-Tremadoc Inferior. *Revista española de paleontología*, 8(2), 221–235.
- Ghavidel-Syooki, M. (1995). Palynostratigraphy and palaeogeography of a Palaeozoic sequence in the Hassanakdar area, Central Alborz Range, northern Iran. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 86(1–2), 91–109.

- Ghavidel-Syooki, M., (1996). Acritarch biostratigraphy of the Palaeozoic rock units in the Zagros Basin, southern Iran. In: Fatka, O. and Servais, T. (Editors), *Commission Internationale de Microflore du Paleozoique (CIMP), Acritarch Subcommittee proceedings*. Acta Universitatis Carolinae Geologica. 40, pp. 385-411.
- Ghavidel-Syooki, M. (2000). Palynostratigraphy and palaeobiogeography of Lower Palaeozoic strata in the Ghelli area, northeastern Alborz range of Iran (Kopet-Dagh region). *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 4, 32–46.
- Ghavidel-Syooki, M. (2001). Biostratigraphy and palaeogeography of late Ordovician and Early Silurian Chitinozoans from the Zagros basin, southern Iran. *Historical Biology*, 15(1–2), 29–39.
- Ghavidel-Syooki, M. (2003). Palynostratigraphy of Devonian sediments in the Zagros Basin, southern Iran. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 127(3–4), 241–268.
- Ghavidel-syooki, M. (2006). Palynostratigraphy and palaeogeography of the Cambro-Ordovician strata in southwest of Shahrud City (Kuh-e-Kharbash, near Deh-Molla), central Alborz Range, northern Iran. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 139(1–4), 81–95.
- Gurdebeke, P. R., Mertens, K. N., Takano, Y., Yamaguchi, A., Bogus, K., Dunthorn, M., Vrielinck H. et Louwye S. (2018). The affiliation of *Hexasterias problematica* and *Halodinium verrucatum* sp. nov. to ciliate cysts based on molecular phylogeny and cyst wall composition. *European Journal of Protistology*, 66, 115–135.
- Hankel, O. (1992). Late Permian to early Triassic microfloral assemblages from the Maji ya Chumvi Formation, Kenya. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 72(1–2), 129–147.
- Herbosch, A., Vanguetaine, M., Degardin, J. M., Dejonghe, L., Fagel, N., & Servais, T. (1991). Etude lithostratigraphique, biostratigraphique et sédimentologique du sondage de Lessines (bord méridional du Massif du Brabant, Belgique). *Annales de la Société Géologique de Belgique*. (1), 195–212.
- Jardiné, S., Combaz, A., Magloire, L., Peniguel, G., & Vachey, G. (1974). Distribution stratigraphique des acritarches dans le Paléozoïque du Sahara algérien. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 18(1–2), 99–129.

- Kaźmierczak, J., & Kremer, B. (2009). Spore-like bodies in some early Paleozoic acritarchs: Clues to chlorococcalean affinities. *Acta Palaeontologica Polonica*, 54(3), 541–552.
- Kebria-eeZadeh, M.R., Ghobadi Pour, M., Popov, L.E., Baars, C., Jahangir, H.. (2015). First record of the Ordovician fauna in Mila-Kuh, eastern Alborz, northern Iran. *Estonian Journal of Earth Sciences*, 64(2), 121–139.
- Kroeck, D. M., Blanchon, M., Zacaï, A., Navidi-Izad, N., Benachour, H. B., Monnet, C., Raevskaya E, Szczepanik Z. & Servais T. (2020). Revision of the Cambro-Ordovician acritarch genus *Vulcanisphaera* Deunff, 1961. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 104212.
- Li, J., Servais, T., & Yan, K. (2014). The Ordovician acritarch genus *Rhopaliophora*: Biostratigraphy, palaeobiogeography and palaeoecology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 208, 1–24.
- Mangerud, G. (1994). Palynostratigraphy of the Permian and lowermost Triassic succession, Finnmark Platform, Barents Sea. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 82(3–4), 317–349.
- Martin, F. (1972). Les acritarches de l'Ordovicien inférieur de la Montagne Noire (Hérault, France). *Bulletin de l'Institut Royal Des Sciences Naturelles de Belgique. Sciences de La Terre*, (10), 48, (10), 1–61.
- Martin, F. (1978). Lower Paleozoic chitinozoa and acritarcha from Newfoundland. *Geological Survey of Canada Paper*, 78, 73–81.
- Martin, F. (1982). Some aspects of Late Cambrian and Early Ordovician acritarchs. In: Bassett, M.G. and Dean, W.T. (Editors), *The Cambrian-Ordovician Boundary; Sections, Fossil Distributions, and Correlations*. Natl. Mus. Wales Cardiff, United Kingdom, 29–40.
- Martin, F. (1992). Uppermost Cambrian and Lower Ordovician acritarchs and Lower Ordovician chitinozoans from Wilcox Pass, Alberta, Canada. *Geological Survey of Canada, Bulletin*, 420, 57pp.

- Martin, F., & Dean, W. T. (1981). Middle and upper Cambrian and Lower Ordovician acritarchs from Random Island, eastern Newfoundland. *Geological Survey of Canada, Bulletin*, 343, 1–43.
- Martin, F., Dean, W.T., 1988. Middle and Upper Cambrian acritarch and Trilobite zonation at Manuels River and Random Island, eastern Newfoundland. *Geological Survey of Canada, Bulletin*, 91 pp.
- McMinn, A., Bolch, C., & Hallegraeff, G. (1992). *Cobricosphaeridium* Harland and Sarjeant: dinoflagellate cyst or copepod egg. *Micropaleontology*, 38(3), 315–316.
- Mehrjerdi, H. (2001). Palynostratigraphy and palaeobiogeography of a Lower Palaeozoic sequence in the type-section of Shirgesht Formation, northern Tabas City, East-Central Iran. *Iran. Int. J. Sci*, 2, 129–149.
- Melendi, D. L., & Volkheimer, W. (1982). Datos palinológicos del límite Ordovícico–Silúrico de Talacasto, Provincia de san Juan. Parte I: Base del Silúrico. *Revista de La Asociación Geológica Argentina*, 37, 221–236.
- Moczydłowska, M., & Stockfors, M. (2004). Acritarchs from the Cambrian-Ordovician boundary interval on Kolguev Island, Arctic Russia. *Palynology*, 28(1), 15–73.
- Moczydłowska, M., Popov, L., & Stockfors, M. (2004). Upper Cambrian-Ordovician successions overlying Timanian complexes: new evidence of acritarchs and brachiopods from Kolguev Island, Arctic Russia. *Geobios*, 37(2), 239–251.
- Moczydłowska, M., Landing, E. D., Zang, W., & Palacios, T. (2011). Proterozoic phytoplankton and timing of chlorophyte algae origins. *Palaeontology*, 54(4), 721–733.
- Molyneux, S., Osterloff, P., Penney, R., & Spaak, P. (2006). Biostratigraphy of the Lower Palaeozoic Haima Supergroup, Oman; its application in sequence stratigraphy and hydrocarbon exploration. *GeoArabia*, 11(2), 17–48.
- Navidi-Izad, N., Hashemi, H., Régnier, S., Kroeck, D., Yan, K., & Servais, T. (2020). Revision of the Middle–Upper Ordovician acritarch genus *Orthosphaeridium* Eisenack 1968 nov. emend. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 273, 104127.
- Parsons, M. G., & Anderson, M. M. (2000). Acritarch microfloral succession from the Late Cambrian and Ordovician (Early Tremadoc) of Random Island, Eastern

- Newfoundland, and its comparison to coeval microfloras, particularly those of the Eastern European Platform. *American Association of Stratigraphic Palynologists, Contributions Series 38*, 1–129.
- Peterson, J. A. (1985). Geology and petroleum resources of north-central and northeastern Africa. *U.S. Geological Survey*, 85-709: 1-54.
- Playford, G., & Dring, R. S. (1981). Late Devonian acritarchs from the Carnarvon Basin, Western Australia. *Special Papers in Palaeontology*, 27, 78–78.
- Playford, G., Ribecai, C., & Tongiorgi, M. (1995). Ordovician acritarch genera *Peteinosphaeridium*, *Liliosphaeridium*, and *Cycloposphaeridium*: morphology, taxonomy, biostratigraphy, and palaeogeographic significance. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 34(1), 3–54.
- Prasad, B. & Maithy, P. K. (1986). Record of *Saharidia*, Combaz, a late Cambrian-Tremadocian index fossil from krol-e beds of mussoorie syncline, india. *Current Science*, 55(18), 906–909.
- Rasul, S. M. & Downie, C. (1974). The stratigraphic distribution of Tremadoc acritarchs in the Shineton Shales succession, Shropshire, England. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 18(1–2), 1–9.
- Ribecai, C., Raevskaya, E. & Tongiorgi, M. (2002). *Sacculidium* gen. nov. (Acritarcha), a new representative of the Ordovician *Stelomorpha–Tranvikium* plexus. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 121(3), 163–203.
- Richardson, J. B., & Rasul, S. M. (1978). Palynomorphs in Lower Devonian sediments from the Apley Barn Borehole, southern England. *Polen et Spore*, 20(3), 423–462.
- Rubinstein, C. V. (2003). Ordovician acritarchs from northwestern Argentina: new insights into the biostratigraphy and paleoenvironmental aspects of the Central Andean Basin and Famatina. In: Albanesi, G.L., Beresi, M.S., Peralta, S.H. (Eds.), Ordovician from the Andes. Proceedings of the 9th International Symposium on the Ordovician System in San Juan, Argentina. Universidad Nacional de Tucumán, Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO; Serie Correlación Geológica 17), Tucumán, Argentina, p. 125–130.

- Gurdebeke, P. R., Mertens, K. N., Takano, Y., Yamaguchi, A., Bogus, K., Dunthorn, M., et al. (2018). The affiliation of *Hexasterias problematica* and *Halodinium verrucatum* sp. nov. to ciliate cysts based on molecular phylogeny and cyst wall composition. *European Journal of Protistology*, 66, 115–135.
- Servais, T. (1997). The Ordovician *Arkonio-Striatotheca* acritarch plexus. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 98(1–2), 47–79.
- Servais, T., & Paris, F. (2000). Ordovician palynology: balance and future prospects at the beginning of the third millennium. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 113(1), 1–14.
- Servais, T., Brocke, R., & Fatke, O. (1996). Variability in the Ordovician acritarch *Dicrodiacrodium*. *Palaeontology*, 39(2), 389–406.
- Servais, T., Vecoli, M., Li, J., Molyneux, S. G., Raevskaya, E. G. & Conicet, C. V. R. (2007). The acritarch genus *Veryhachium* Deunff 1954: taxonomic evaluation and first appearance. *Palynology*, 31(1), 191–203.
- Servais, T., Li, J., Molyneux, S. G., & Vecoli, M. (2008). The Ordovician acritarch genus *Coryphidium*. *Revue de Micropaléontologie*, 51(1), 97–120.
- Stricanne, L. (2004). L'utilisation des acritarches du Paléozoïque inférieur pour la reconstitution des paléoenvironnements (thèse de doctorat inédite). Universität Tübingen, Université de Lille 1.
- Turner, R. E. (1979). Acritarchs of Llandeilo and Caradoc age from classic localities in Britain (thèse de doctorat inédite). University of Sheffield, Sheffield.
- Turner, R. E. (1982). Reworked acritarchs from the type section of the Ordovician Caradoc Series, Shropshire. *Palaeontology*, 25(1), 119–143.
- Turner, R. E. (1991). New acritarch taxa from the Middle and Upper Devonian (Givetian–Frasnian) of western Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 28(9), 1471–1487.
- Van Waveren, I. M., & Marcus, N. H. (1993). Morphology of recent copepod egg envelopes from Turkey Point, Gulf of Mexico, and their implications for acritarch affinity. *Spec. Pap. Palaeontol.*, 48, 111–124.

- Vavrdová, M. (1972). Acritarchs from Klabava Shales (Arenig). *Vestník Ustředního Ústavu Geologického*. *Vestník Ustředního Ústavu Geologického*, 47(2), 79–86.
- Vavrdová, M. (1982). Phytoplankton communities of Cambrian and Ordovician age of Central Bohemia. *Vestník Ustředního Ústavu Geologického*, 57(3), 145–155.
- Vavrdová, M. (1988). Further acritarchs and terrestrial plant remains from the Late Ordovician at Hlasna Treban (Czechoslovakia). *Časopis pro Mineralogii a Geologii*, 33(1), 1–10.
- Vavrdová, M. (1990). Early Ordovician acritarchs from the locality Myto near Rokycany (late Arenig, Czechoslovakia). *Časopis pro Mineralogii a Geologii*, 35(3), 237–250.
- Vavrdová, M. (1990). Coenobial acritarchs and other palynomorphs from the Arenig/Llanvirn boundary, Prague Basin. *Vestník Ustředního Ústavu Geologického*, 65(4), 237–242.
- Vecoli, M. (1996). Stratigraphic significance of acritarchs in Cambro-Ordovician boundary strata, Hassi-Rmel area, Algerian Sahara. *Bollettino della Societa Paleontologica Italiana*, 35, 3–58.
- Vecoli, M. (1999). Cambro-Ordovician palynostratigraphy (acritarchs and prasinophytes) of the Hassi-R'Mel area and northern Rhadames Basin, North Africa.
- Vecoli, M. (2000). Palaeoenvironmental interpretation of microphytoplankton diversity trends in the Cambrian–Ordovician of the northern Sahara Platform. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 160(3–4), 329–346.
- Vecoli, M. (2004). Stratigraphic and palaeoenvironmental distribution of organic-walled microfossils in Cambrian-Ordovician transitional strata of borehole Bir Ben Tartar-1 (Tr-1; Ghadamis Basin, southern Tunisia). *Memoir-Association of Australasian Palaeontologists*, 29, 13–30.
- Vecoli, M., Albani, R., Ghomari, A., Massa, D., & Tongiorgi, M. (1995). Précisions sur la limite Cambrien-Ordovicien au Sahara algérien (secteur de Hassi-Rmel). *Comptes Rendus de l'Académie Des Sciences. Série 2. Sciences de La Terre et Des Planètes*, 320(6), 515–522.
- Vecoli, M., & Le Hérisse, A. (2004). Biostratigraphy, taxonomic diversity and patterns of morphological evolution of Ordovician acritarchs (organic-walled microphytoplankton) from the northern Gondwana margin in relation to

- palaeoclimatic and palaeogeographic changes. *Earth-Science Reviews*, 67(3–4), 267–311.
- Vecoli, M., Tongiorgi, M., Abdesselam-Roughi, F. F., Benzarti, R., & Massa, D. (1999). Palynostratigraphy of upper Cambrian-upper Ordovician intracratonic clastic sequences, North Africa. *Bollettino della Societa Paleontologica Italiana*, 38(2/3), 331–342.
- Vergel, M.d.M., Aráoz, L. & Rubinstein, C.V. (2002). Palinomorfos Ordovícicos de Argentina: Una vision integradora. In: Aceñolaza, G.F. (Ed.) Aspects of the Ordovician System in Argentina. Serie Correlación Geológica, *Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO)* 16 (16), 209–224.
- Vergel, M. del M., Araoz, L. & Aceñolaza, G. F. (2007). La Formación Casa Colorada en la quebrada de Moya (Cambro-Ordovícico): aportes a la cronoestratigrafía de una localidad clásica de la Cordillera Oriental de Jujuy (Argentina); *Asociación Paleontológica Argentina; Ameghiniana*; 44; 3; 9-2007; 621-630.
- Vergel, M. M., Cisterna, G. A. & Sterren, A. F. (2008). Primera evidencia palinológica en la Formación El Paso, Paleozoico superior, Precordillera argentina. Tucumán, *2nd Jornadas Geológicas, Dirección de Geología, Fundación Miguel Lillo*, 149–151.
- Vergel, M. del M., Aceñolaza, G. F. & Araoz, L. (2013). Palynology of the Iscayachi Formation (Cambro-Ordovician) from the Cordillera Oriental of Southern Bolivia: New data from the western margin of Gondwana. *Geologica Acta: An International Earth Science Journal*, 11(2), 167–176.
- Volkova, N. A. (1990). middle and upper Cambrian acritarchs in the East-European Platform. *Academy of Sciences of the USSR: Transactions*, (454), 1-116.
- Volkova, N. A. (1999). Novyje rody akritarkh iz nizhnego tremadoka moskovskoj sineklizy (New lower Tremadocian acritarch genera from the Moscow Basin). *Paleontologicheskij Zhurnal*, 6, 73–75.
- Wang, W., Servais, T., Yan, K., Vecoli, M., & Li, J. (2015). The Ordovician acritarch *Dactylofusa velifera* Cocchio 1982: a biostratigraphical and palaeogeographical index species. *Palynology*, 39(1), 125–141.

- Whiteman, A. J. (1971). “Cambro-Ordovicien” Rocks of Al Jazaïr (Algeria)—a Review. *AAPG Bulletin*, 55(8), 1295–1335.
- Yan, K., Servais, T., & Jun, L. (2010). Revision of the Ordovician acritarch genus *Ampullula* Righi 1991. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 163(1), 11–25.
- Yan, K., Li, J., Molyneux, S. G., Raevskaya, E. G., & Servais, T. (2017). A review of the Ordovician acritarch genus *Barakella* Cramer & Díez 1977K. *Palynology*, 41(0), 80–94.

## Planche photographique

Barre d'échelle : 20  $\mu\text{m}$

A. *Saharidia fragilis* (Downie) Combaz 1967, Formation de Lashkarak, Région de Gheli, Iran

B. *Saharidia fragilis*(Downie) Combaz 1967, Formation de Lashkarak, Région de Gheli, Iran

C. *Saharidia fragilis* (Downie) Combaz 1967, Formation de Mila, Région de Gheli, Iran

D. *Saharidia fragilis* (Downie) Combaz 1967, Formation de Mila, Région de Gheli, Iran

E. *Saharidia fragilis* (Downie) Combaz 1967, Formation de Lashkarak, Région de Gheli, Iran

F. *Saharidia fragilis* (Downie) Combaz 1967, Formation de Lashkarak, Région de Gheli, Iran

G. *Saharidia fragilis* (Downie) Combaz 1967, nl2 :3056.9m, Formation de Bordj Nili, Hassi R'Mel, Algérie

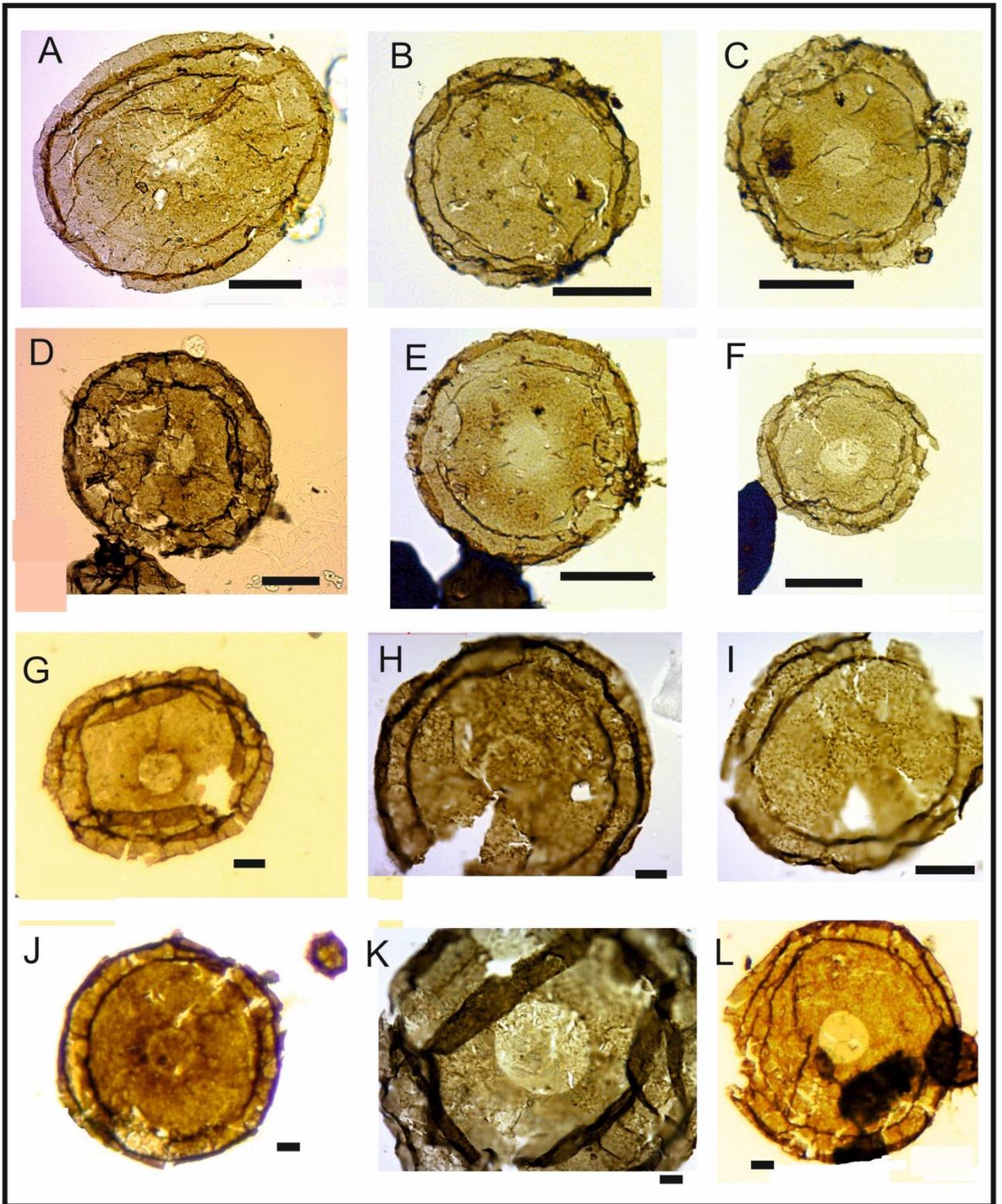
H. *Saharidia fragilis* (Downie) Combaz 1967, nl2 : 3056.9m, Formation de Bordj Nili, Hassi R'Mel, Algérie

I. *Saharidia fragilis* (Downie) Combaz 1967, nl2 :3056.9m, Formation de Bordj Nili, Hassi R'Mel, Algérie

J. *Saharidia fragilis* (Downie) Combaz 1967, nl2 :3056.9m, Formation de Bordj Nili, Hassi R'Mel, Algérie

K. *Saharidia fragilis* (Downie) Combaz 1967, nl2 : 3056.9m, Formation de Bordj Nili, Hassi R'Mel, Algérie

L. *Saharidia fragilis* (Downie) Combaz 1967, nl2 :3056.9 m, Formation de Bordj Nili, Hassi R'Mel, Algérie



**ANNEXES: PUBLICATIONS ET  
PARTICIPATIONS AU CONGRES**

## **ANNEXES :**

### **Publications**

**Annexe 1 :** Publication 1 : Benachour et al. 2020 (N.Jb.Geol.Pal.)

Lower Palaeozoic acritarchs from the Traras Mountains – First evidence of Ordovician  
sediments in northwestern Algeria

**Annexe 2 :** Publication 2 : Kröck et al. 2020 (Rev Palaeobot Palyn).

Revision of the Cambro-Ordovician acritarch genus *Vulcanisphaera* Deunff, 1961. *Review of  
Palaeobotany and Palynology*, 104212.

### **Résumés des congrès:**

**Annexe 3 :** Benachour et al. 2019 (52nd Annual Meeting AASP- The Palynological  
Society, Ghent, Belgium, du 30 juin au 5 juillet, 2019)

A review of the acritarch genus *Saharidia* Combaz 1967

**Annexe 4 :** Benachour et al. 2019 (Proceedings of the 6th International Congress of Agora  
Paleobotanica, Lille, France, du 11 au 13 juillet 2019)

Revision of the late Cambrian-Ordovician acritarch genus *Saharidia* Combaz 1967

**Annexe 5 :** Akodad et al. 2019 (13th International Symposium on the Ordovician System  
Novosibirsk, Russie, du 19 au 22 juillet, 2019)

New acritarch investigations on the Lower-Middle Ordovician of the Tazekka Massif, eastern  
Morocco.

**Annexe 6 :** Akodad et al. 2019 (63rd Annual Meeting- The Palaeontological Association,  
Valence, Espagne, du 15 au 21 Décembre 2019)

Acritarchs from the Lower Ordovician of the Tazekka massif, eastern Morocco