

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
تلمسان—جامعة أبو بكر بلقايد
Université ABOU BEKR BELKAID – TLEMCEM
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département des Sciences de la Terre et de l'Univers



MÉMOIRE

Présenté par
MENACER Maroua Sadia & SAYAH Chaima
En vue de l'obtention du
Diplôme de MASTER
En Géologie des Bassins Sédimentaires

Thème

**Adaptation paléo écologique et variation morphologique chez les
Cytherellidae durant les évènements anoxiques 1 et 2**

Soutenu le 23/ 06 / 2026 devant le jury composé de :

Présidente : Mme MAHBOUBI Salamet	M.C.A	Université de Tlemcen
Encadrante : Mme TCHENAR-KAZI TANI Soumia	M.C.A	Université de Tlemcen
Examineur : Mme GHENIM Asma Fethia	M.C.B	Université de Tlemcen

Année universitaire 2025 / 2026

Avant-propos

À la fin de ce travail, nous tenons à remercier ALLAH le Tout-Puissant de nous avoir accordé Ses bienfaits et de nous avoir donné l'opportunité et la volonté de mener à bien nos études, depuis le début de notre formation jusqu'à aujourd'hui.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent à notre encadrante, Madame KAZI TANI Soumia, pour avoir accepté de diriger ce travail, pour sa disponibilité et pour ses précieux conseils tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions également Madame MAHBOUBI Salamet , enseignante à l'Université de Tlemcen, qui nous a fait l'honneur d'accepter de présider le jury.

Nos remerciements vont aussi à Madame GHENIM Asma Fethia, enseignante à l'Université de Tlemcen, pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Enfin, nous adressons notre profonde reconnaissance à tous les enseignants du Département des Sciences de la Terre et de l'Univers, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce mémoire.

Dédicace

Avant tout, je remercie Allah le tout-puissant de m'avoir accordé la force, la patience, et la persévérance nécessaires pour mener ce travail à son terme.

Je dédie ce mémoire,

À mon père Houcine qu'Allah lui fasse miséricorde,

Ton absence a laissé un grand vide, mais ton amour, tes valeurs, et les souvenirs que tu m'as transmis m'ont toujours guidée. J'espère que tu es fière de moi. Qu'Allah t'accorde le plus rang au paradis.

À ma très chère mère Kheira,

Pour son amour infini, ses sacrifices, ses conseils et ses prières qui m'ont accompagnée à chaque étape de ma vie. Tu es ma plus grande fierté et ma plus belle source de courage.

À mes chères sœurs Sara et Feriel et mes deux tantes Emebarka et Houaria,

Merci pour votre affection, votre soutien et vos encouragements constants.

À mon frère, Mohammed,

Pour sa présence, sa confiance et ses précieux conseils.

À mon mari, Mohammed,

Pour sa patience, sa compréhension et son soutien

À mon binôme, Chaima,

Avec qui j'ai partagé cette belle aventure universitaire, les moments de doute comme les instants de réussite. Merci pour ton sérieux, ta coopération et tous les efforts fournis ensemble pour mener ce travail à bien. Je te souhaite beaucoup de succès et de bonheur dans la suite de ton parcours.

À toute ma famille,

Pour leur amour, leurs encouragements et leurs prières qui ont été une source de motivation inestimable

Dédicace

Je dédie ce mémoire,

À moi-même,

À cette jeune fille qui a traversé les doutes et les moments de faiblesse sans jamais renoncer, qui a choisi de croire en ses capacités malgré les obstacles. À celle qui est tombée, qui a pleuré parfois, mais qui a toujours trouvé la force à se relevé, qui a parfois eu peur, mais qui ne s'est jamais arrêtée. J'ai cru en mes rêves, j'ai suivi mon propre chemin avec détermination, et aujourd'hui je suis fière de la personne que je suis devenue, de tout ce que j'ai accompli et du parcours qui m'a menée jusqu'ici.

À mon cher père,

Pour son soutien, sa confiance et les valeurs qu'il m'a transmises. Merci d'avoir toujours cru en moi et de m'avoir encouragée à poursuivre mes ambitions.

À ma très chère maman,

Pour son amour inconditionnel, ses sacrifices, sa tendresse et ses précieuses prières qui m'ont accompagnée à chaque étape de ma vie.

À mes chères sœurs, Imane et Khadidja,

Pour leur affection, leur présence et leurs encouragements qui m'ont donné la force d'avancer.

À mon binôme, Marwa,

Avec qui j'ai partagé cette aventure académique, les moments de stress, de travail et de satisfaction. Merci pour ta collaboration, ta patience et les efforts que nous avons fournis ensemble pour mener ce mémoire à son terme. Je te souhaite une belle réussite pour la suite.

À toutes les personnes qui ont cru en moi et m'ont soutenue de près ou de loin.

Enfin, ce travail est la preuve qu'avec de la volonté et de la confiance en soi, les rêves peuvent devenir réalité.

Avec toute ma reconnaissance, mon amour et ma fierté

ملخص

ركز هذا العمل على دراسة علم البيئة القديمة لقشريات ألوستراكوذا من عائلة سيتيريليدا الل حدثي نقص الأكسجين المحيطي الرئيسيين في حقبة الحياة الوسطى: حدث نقص الأكسجين في المحيط 1 (ألتورسي المبكر) وحدث نقص الأكسجين في المحيط 2 ألد أفاصل بين ألسينوماني وألتوروني.

شملت مراجعة الأدبيات أربعة مقاطع جيولوجية: بني منير (مللة، جبال ترأس) وحوض فاستنت (أيرلندا) ل حدث نقص الأكسجين في المحيط 1؛ وبرج عمر إدريس (حوض تنزهرت، الصحراء الجزائرية) وبحر محمد (حوض طرفاية، المغرب) ل حدث نقص الأكسجين في المحيط 2. تحدد هذه المقاطع الأنطاقات الجغرافية القديمة لبحر تيثيس أو المحيط الأطلسي.

تظهر الدراسة الميكروبيالوننتولوجية أنخفاا" حادا في أعداد ألوستراكوذا الل مرأجل ألزمة ألبئية، على عكس عائلة سيتيريليدا. فقد أستمرت الأبرة في ألبقاء من الل تطوير نمط تنفس يعتمد على الترشيح، يعرف باسم "إشارة ألبتيكوبيد". تظهر هذه الكائنات قدرة على تحمل أملوحة وألتغيرات الشكلية. وهي غائبة عن ألبنيات ألعقيقة جدا ومناطق ألتيارات أالصاعدة.

الكلمات المفتاحية: تيثيس، المحيط الأطلسي، ألوستراكوذا، عائلة سيتيريليدا، حدث نقص الأكسجين في المحيط 1، حدث نقص الأكسجين في المحيط 2، ألعصر ألباشيري، ألعصر أالجوراسي، علم ألبئية أالقديمة.

Abstract

This study addresses the paleoecology of ostracods of the family Cytherellidae during the two major Mesozoic oceanic anoxic events: OAE 1 (lower Toarcian) and OAE 2 (Cenomanian–Turonian boundary).

The literature review focused on four geological sections: Beni Menir (Mellala, Traras Mountains) and the Fastnet Basin (Ireland) for OAE 1; Bordj Omar Driss (Tinrhert Basin, Algerian Sahara) and Mohammed Plage (Tarfaya Basin, Morocco) for OAE 2. These sites fall within Tethyan or Atlantic paleogeographic domains.

Micropaleontological analysis shows a marked decline in ostracod faunas during ecological crisis intervals, in contrast to Cytherellidae. The latter persist by developing a filter-feeding respiratory mode (the “platycopid signal”), exhibiting salinity tolerance and morphological variability. They are absent from very deep settings and from upwelling zones.

Key words: Tethys, Atlantic, ostracods, Cytherellidae, OAE 1, OAE 2, Cretaceous, Jurassic, paleoecology.

Résumé

Ce travail porte sur l'étude paléoécologique des ostracodes de la famille des Cytherellidae au cours des deux principaux événements anoxiques océaniques du Mésozoïque : l'EAO 1 (Toarcien inférieur) et l'EAO 2 (passage Cénomaniens–Turonien).

Les recherches bibliographiques ont porté sur quatre coupes géologiques : Beni Menir (Mellala, Monts des Traras) et le bassin de Fastnet (Irlande) pour l'EAO 1 ; Bordj Omar Driss (bassin de Tinrhert, Sahara algérien) et Mohammed Plage (bassin de Tarfaya, Maroc) pour l'EAO 2. Elles cadrent les domaines paléogéographiques téthysien ou atlantique.

L'étude micropaléontologique montre une forte baisse chez l'ostracofaune, lors des phases de crise écologiques, contrairement aux Cytherellidae. Ces derniers persistent en développant un mode de respiration filtreur « platycopid signal »; une tolérance à la salinité ; ainsi que des variations morphologiques. Ils sont absents dans les milieux très profonds et dans les zones « remontée d'eau ».

Mots clés : Téthys, Atlantique, ostracodes, Cytherellidae, EAO 1, EAO 2, Crétacé, Jurassique, paléoécologie.

Table des matières

Avant-propos.....	2
ملخص.....	5
Abstract	6
Résumé	7
Introduction générale.....	11
Chapitre 1	14
I. Généralités sur les événements anoxiques océaniques	14
I.1. Accident océanique I dans les bassins téthysiens et atlantiques	14
I.1.1 L’EAO 1 dans le bassin téthysien.....	14
I.1.2 L’EAO 1 dans le bassin atlantique.....	15
I.2 Accident océanique II dans les bassins téthysiens et atlantique	15
I.2.1. L’EAO 2 dans le bassin téthysien.....	15
I.2.2. L’EAO 2 dans le bassin atlantique.....	16
I.3. Accidents océaniques I et II en Algérie.....	16
I.3.1 Cadre géologique de l’Algérie au Mésozoïque	16
I.4. Accidents océaniques I et II dans les régions étudiées.....	17
I.4.1. Les régions de l’EAO 1.....	17
I.4.2 Les régions de l’EAO 2.....	18
II. Historique des recherches	18
III. But et méthode de travail.....	20
III.1. Objectifs du mémoire	20
III.2. Méthodes de travail	20
Chapitre 2 : Étude lithostratigraphique et répartition des ostracodes dans les bassins téthysiens et atlantiques au cours des événements anoxiques océaniques I et II	23
I. Introduction	23
II. L'événement anoxique océanique I (EAO 1) dans les bassins téthysiens et atlantiques.....	23
II.1 Bassin Téthysien.....	23

Coupe de Beni Menir.....	23
II.2 Bassin Atlantique	28
Coupe de bassin de Fasnet.....	28
III L'événement anoxique océanique II (EAO 2) dans les bassins téthysiens et atlantique	34
III.1 Bassin Téthysien	34
Coupe de Bordj Omar Driss	34
III.2 Bassin Atlantique.....	38
Coupe de Mohammed Plage – Bassin de Tarfaya (bassin atlantique).....	38
IV. Conclusion	45
Chapitre 3. Étude Paléoécologique des Cytherellidae durant les EAO 1 & 2	49
I. Introduction	49
II. Conditions paléoenvironnementales durant les EAO 1 et 2	49
II.2. Paramètres physico-chimiques du milieu : oxygène, température et salinité	49
III. Réponse écologique des Cytherellidae à l'EAO 1 (Toarcien inférieur).....	50
III.1. Variations de diversité et d'abondance	51
III.2. Espèces disparues — espèces persistantes	51
III.3. Stratégies adaptative observées	52
IV. Réponse écologique des Cytherellidae à l'EAO 2 (Cénomaniens-Turonien) 58	
IV.1. Variations de diversité et d'abondance.....	58
IV.2. Espèces disparues — espèces renouvelées	59
IV.3. Stratégies adaptatives observées.....	59
V. Analyse comparative EAO 1 / EAO 2	63
V.1. Points communs dans la réponse des Cytherellidae.....	63
VI. Conclusion	64
Conclusion générale	66
Références bibliographiques.....	69
Liste des figures.....	74

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Les événements anoxiques océaniques (EAO), ou Oceanic Anoxic Events (OAE) (Jencky 1976), correspondent à des épisodes clés dans l'évolution de la biosphère. Ils résultent de la baisse de la quantité d'oxygène dissous dans les mers et les océans, suite à la réduction de la production primaire. Cette anoxie a entraîné le dépôt et la concentration d'une grande quantité de matière organique dans les sédiments. Sur le plan biologique, ces conditions défavorables à l'existence biologique sont à l'origine des extinctions massives dans le domaine marin, en particulier chez les ostracodes.

Le terme « événement anoxique océanique » a été proposé pour la première fois par Schlanger et Jenkyns (1976). Ces auteurs ont étudié des couches de sédiments riches en matière organique, appelées aussi « schistes noirs » (black shales). Ils ont expliqué que la matière organique se conservait bien parce que l'oxygène manquait dans l'eau, ce qui empêchait sa dégradation par les bactéries qui ont besoin d'oxygène.

Ce travail s'intéresse à deux événements anoxiques majeurs. Le premier est l'EAO 1, qui s'est produit au Toarcien inférieur, il y a environ 183 millions d'années. Le second est l'EAO 2, qui touche le passage Cénomaniens–Turonien, il y a environ 93,9 millions d'années. Ces deux événements sont les mieux connus et les plus marqués du Mésozoïque.

Ce mémoire porte plus précisément sur la famille des Cytherellidae, un groupe d'ostracodes. Ces petits crustacés sont de bons indicateurs des conditions de l'environnement ancien (indicateurs paléocéologiques). Ils persistent et dominent lors des crises écologiques, suite à un dispositif d'adaptation particulier (chapitre 3).

PREMIER CHAPITRE

- I. Généralités sur les événements anoxiques océaniques**
 - I.I. Accident océanique I dans les bassins téthysien et atlantique**
 - I.II. Accident océanique II dans les bassins téthysiens et atlantique**
 - I.III. Accidents océaniques I et II en Algérie**
 - I.IV. Accidents océaniques I et II dans les régions étudiées**
- II. Historique des recherches**
- III. But et méthode de travail**

Chapitre 1 :

I. Généralités sur les événements anoxiques océaniques

Les événements anoxiques océaniques sont des perturbations globales des cycles de la matière. Ils se reconnaissent grâce à plusieurs indices géochimiques et sédimentaires.

Sur le plan géochimique, les EAO se traduisent par une variation marquée des isotopes stables du carbone ($\delta^{13}C$). Cette variation montre qu'une grande quantité de carbone organique a été enfouie dans les sédiments (Jenkyns, 1980 ; Weissert, 1989). Aujourd'hui, cette excursion isotopique est un repère essentiel pour identifier et corrélérer les EAO dans le monde entier.

Plusieurs causes peuvent expliquer le manque d'oxygène pendant les EAO. Selon Leckie et al. (2002), les plus souvent citées sont : (1) l'augmentation de la productivité en surface, qui apporte beaucoup de matière organique vers le fond ; (2) la stratification des eaux, qui empêche le mélange entre les eaux de surface et les eaux de fond ; (3) la hausse de la température de l'eau, qui réduit la quantité d'oxygène que l'eau peut contenir ; (4) l'activité volcanique des grandes provinces ignées, qui libère beaucoup de CO_2 et réchauffe le climat.

I.1. Accident océanique I dans les bassins téthysiens et atlantiques

I.1.1 L'EAO 1 dans le bassin téthysien

L'événement anoxique océanique I (EAO 1) correspond à l'événement anoxique du Toarcien (T-OAE), daté d'environ 183 millions d'années. Il est lié à l'activité volcanique très forte de la grande province ignée de Karoo-Ferrar (Jenkyns, 1988 ; Hesselbo et al., 2000). Ce volcanisme a libéré beaucoup de CO_2 et de SO_2 , ce qui a réchauffé le climat et provoqué l'extension des zones pauvres en oxygène dans les mers.

Dans la Téthys, cet événement est très bien enregistré. Il se caractérise par une importante excursion négative du $\delta^{13}C$. Cette excursion est expliquée par un relâchement massif de carbone léger, peut-être d'origine volcanique ou lié à la libération de méthane (Hesselbo et al.,

2000 ; Röhl et al., 2001). Les couches associées à l'EAO 1 sont des black shales finement lités, très riches en matière organique. Elles montrent un milieu de fond presque sans oxygène. La crise de la faune de fond pendant l'EAO 1 est l'une des plus fortes du Jurassique. De nombreux organismes benthiques disparaissent. Les Cytherellidae qui sont sensibles aux variations d'oxygène, montrent dans ces niveaux une forte baisse de leur diversité (Whatley, 1991, 1995).

I.1.2 L'EAO 1 dans le bassin atlantique

Dans le domaine atlantique, l'EAO 1 est moins bien connu. Au Toarcien, l'Atlantique n'était pas encore un véritable océan ouvert, mais plutôt un rift qui s'ouvrait peu à peu entre l'Amérique du Nord et l'Afrique (Jenkyns, 1988). Les bassins de rift de cette marge ont quand même enregistré des conditions pauvres en oxygène, surtout parce qu'ils étaient en partie fermés.

Des couches riches en matière organique d'âge Toarcien ont été identifiées dans plusieurs de ces bassins. La connexion entre ces bassins atlantiques et la Téthys a joué un rôle important : elle a permis la propagation des conditions anoxiques et explique le caractère mondial de l'événement (Hesselbo et al., 2000 ; Röhl et al., 2001).

I.2 Accident océanique II dans les bassins téthysiens et atlantique

I.2.1. L'EAO 2 dans le bassin téthysien

L'événement anoxique océanique II (EAO 2), aussi appelé événement « Bonarelli », est daté du passage Cénomaniens–Turonien, soit environ 93,9 millions d'années (Bonarelli, 1891 ; Jenkyns, 1980). On le considère comme l'événement anoxique le plus étendu et le plus intense du Mésozoïque (Jenkyns, 2010 ; Turgeon et Creaser, 2008).

Dans la Téthys, l'EAO 2 est enregistré dans de nombreuses coupes lithostratigraphiques, des Apennins jusqu'au Proche-Orient, en passant par le Maghreb (Gebhardt et al., 2010). La disparition ou la forte réduction de nombreux organismes benthiques, dont les ostracodes, est un marqueur biologique important de l'événement. L'EAO 2 est associé au volcanisme de la grande province ignée du plateau Caraïbes-Colombie (Turgeon et Creaser, 2008 ; Leckie et al., 2002).

I.2.2. L'EAO 2 dans le bassin atlantique

Dans le bassin atlantique, l'EAO 2 est l'un des événements les mieux documentés. Cela s'explique par le grand nombre de forages océaniques et par des affleurements accessibles sur les marges continentales. L'événement se manifeste par des couches d'argiles noires très riches en matière organique (le carbone organique total, ou COT, peut dépasser 10 %), intercalées dans des séries carbonatées (Gebhardt et al., 2004).

Sur la marge atlantique nord-africaine, le bassin de Tarfaya (sud du Maroc) est un site important. Cette zone est marquée par un système d'upwelling, c'est-à-dire une remontée d'eaux profondes, froides et riches en nutriments vers la surface (El Albani et al., 1999b ; Gebhardt et al., 2004). Cet upwelling a augmenté la productivité de surface et favorisé l'installation d'une zone pauvre en oxygène sur la plate-forme. La combinaison de l'anoxie globale et de l'upwelling a créé des conditions très particulières pour la microfaune (Gebhardt et Zorn, 2007).

I.3. Accidents océaniques I et II en Algérie

I.3.1 Cadre géologique de l'Algérie au Mésozoïque

Au Crétacé, le territoire actuel de l'Algérie se trouvait sur la marge sud de la Téthys, sur la grande plate-forme nord-africaine. Cette position en faisait une zone de transition entre les milieux peu profonds de plate-forme, au sud, et les milieux plus ouverts, au nord. Les grandes unités géologiques (Tell, Hauts-Plateaux et Atlas saharien) ont enregistré de façon différente les événements anoxiques (Bassoullet et Damotte, 1969).

a) L'EAO 1 en Algérie

L'EAO 1 (Toarcien) est reconnu dans plusieurs régions d'Algérie, surtout dans les séries jurassiques du domaine tellien. La coupe de Beni Menir, dans les Monts des Traras (Algérie nord-occidentale), enregistre bien cet événement (Tchenar, 2004). Les séries toarciennes algériennes montrent des alternances de marnes sombres, d'argiles noires et de calcaires fins, peu bioturbés. Elles contiennent des assemblages d'ostracodes appauvris, ce qui montre une réduction de la diversité de la faune de fond.

Dans ces niveaux, les genres typiques du Pliensbachien, comme *Ogmoconcha* et *Ogmoconchella*, disparaissent peu à peu. Ils sont remplacés par les Cytherellidae, surtout le genre *Cytherella*, qui devient dominant au sommet de la coupe. Cette dominance traduit l'installation d'un milieu difficile pour la plupart des ostracodes (Tchenar, 2004).

b) L'EO 2 en Algérie

L'EO 2 (limite Cénomaniens–Turonien) est l'événement anoxique le mieux documenté en Algérie. Il coïncide avec la grande transgression céno-mano-turonienne, qui a fait avancer la mer sur tout le Maghreb. La coupe de Bordj Omar Driss, dans le bassin de Tinrhert (Sahara algérien), enregistre cet événement (*In*. Tchenar et al, 2020).

Dans cette coupe, les Cytherellidae sont très présents. Dès la base du Cénomaniens, dans un milieu lagunaire confiné, les espèces *Cytherella parallela* et *Cytherella gigantosulcata* sont les plus abondantes (Tchenar et al., 2020). Plus haut, dans les marnes médianes du Turonien, la microfaune devient plus variée : on retrouve les Cytherellidae mais aussi d'autres genres comme *Doloccytheridea atlasica* ou *Paracypris mdaouerensis* (Tchenar et al., 2020).

I.4. Accidents océaniques I et II dans les régions d'étude

Pour étudier ces deux événements, ce travail s'appuie sur quatre coupes géologiques. Pour chaque événement deux coupes ont été choisies. Cette approche permet de comparer la réponse de la microfaune dans deux contextes différents.

I.4.1. Les régions de l'EO 1

a) Coupe de Beni Menir (bassin téthysien)

Cette coupe se trouve dans la partie occidentale des Monts des Traras, en Algérie nord-occidentale. Elle est orientée NW de la ville de Tlemcen. La série étudiée a une épaisseur d'environ 57 m et se divise en un membre inférieur et un membre supérieur (Ameur, 1999). Elle enregistre la transition entre le Pliensbachien supérieur et le Toarcien inférieur. C'est dans cette coupe que l'on observe le mieux le remplacement des faunes du Pliensbachien par les Cytherellidae du Toarcien.

b) Coupe du bassin de Fastnet (bassin atlantique)

Ce bassin se situe au large du sud-ouest de l'Irlande. C'est un petit bassin allongé (environ 110 km de long), orienté nord-est–sud-ouest (Robinson, 1981 ; Naylor et Shannon, 1982). Il enregistre la sédimentation marine du Pliensbachien au Toarcien supérieur–Aalénien. Il contient une grande diversité d'ostracodes et montre bien la réponse de la microfaune au manque d'oxygène du Toarcien inférieur (Ainsworth, 1986, 1987).

I.4.2 Les régions de l'EAO 2

a) Coupe de Bordj Omar Driss (bassin téthysien)

Cette coupe se trouve dans le Sahara algérien, dans la partie nord du bassin de Tinrhert. Ce bassin intracratonique repose sur la plate-forme saharienne stable. La série étudiée a une épaisseur d'environ 73 m et comprend un membre inférieur et un membre supérieur (Busson, 1960 ; Tchenar, et al., 2020). Elle enregistre la transition Cénomaniens–Turonien et permet de suivre l'évolution des Cytherellidae pendant l'EAO 2.

b) Coupe de Mohammed Plage (bassin téthysien)

Cette coupe côtière se situe dans le sud du Maroc, à l'extrémité nord du bassin de Tarfaya (Gebhardt et Zorn, 2007). Le bassin appartient à la marge passive du nord-ouest de l'Afrique et est soumis à des courants d'upwelling actifs.

La paléo-profondeur de dépôt augmente de 0 m à la base à environ 150 m au sommet (El Albani et al., 1999a). La coupe est divisée en plusieurs sections et présente un prototype pour les corrélations biostratigraphiques (Luderer, 1999 ; Gebhardt et al., 2004). C'est un site idéal pour étudier le pic de l'EAO 2.

II. Historique des recherches

Les recherches sur les ostracodes et les événements anoxiques s'inscrivent dans une large gamme de thématiques scientifique. Voici les principaux travaux qui ont servi de base à cette étude.

Auteurs et années	Résultats
Bonarelli, G. (1891).	Première description du niveau organique à la limite Cénomaniens–Turonien dans les Apennins italiens. Ce niveau, appelé plus tard « niveau Bonarelli », sera rattaché à l'EAO 2.
Schlanger, S. O. et Jenkyns, H. C. (1976).	Définition du concept d'Oceanic Anoxic Event (OAE) et identification des événements anoxiques comme un phénomène mondial.
	Plusieurs synthèses fondamentales sur les

	événements anoxiques, leurs causes (volcanisme, cycle du carbone) et leurs signatures géochimiques à l'échelle mondiale.
Ainsworth, N. R. (1986, 1987).	Étude des ostracodes du bassin de Fastnet (Atlantique) et description de la réponse de la microfaune à la stagnation marine du Toarcien inférieur.
Ameur, M. (1999).	Étude lithostratigraphique et micropaléontologique du Lias des Monts des Traras (Algérie). Référence essentielle pour la coupe de Beni Menir et l'EAO 1 en Algérie.
Whatley, R. (1991, 1995).	Définition du « platycopid signal », c'est-à-dire l'utilisation des ostracodes platycopides (dont les Cytherellidae) pour détecter les milieux pauvres en oxygène.
Bassoullet, J.-P. et Damotte, R. (1969).	Description de nouveaux ostracodes du Cénomaniens–Turonien de l'Atlas saharien (Algérie). Premiers travaux de référence sur les Cytherellidae algériens.
Busson, G. (1960, 1969).	Travaux de référence sur la stratigraphie du Crétacé du Sahara algéro-tunisien, dont le bassin de Tinrhert.
Gebhardt, H. et al. (2004) ; Gebhardt et Zorn (2007).	Étude des foraminifères et des ostracodes du bassin de Tarfaya (Maroc) comme indicateurs des variations du niveau marin, de l'oxygénation et des apports nutritifs pendant l'EAO 2.
El Albani, A. et al. (1999a, 1999b).	Étude de l'évolution paléoenvironnementale et de l'activité hydrodynamique de la série crétacée du bassin de Tarfaya.
Tchenar, S. (2016) ; Tchenar et al.	Études lithostratigraphiques et

(2020).	micropaléontologiques du Crétacé moyen de la région de Bordj Omar Driss et de la répartition de la microfaune.
Leckie, R. M. et al. (2002) ; Turgeon, S. C. et Creaser, R. A. (2008).	Travaux sur le lien entre le volcanisme des grandes provinces ignées et le déclenchement des événements anoxiques, en particulier l'EO 2.
Hesselbo, S. P. et al. (2000) ; Röhl, H.-J. et al. (2001).	Mise en évidence du relâchement de méthane et étude sédimentologique des coupes de référence de l'EO 1 téthysien.

Tableau 1 : Historique des principaux travaux de référence sur les ostracodes et les événements anoxiques océaniques.

III. But et méthode de travail

III.1. Objectifs du mémoire

Ce mémoire a pour objectif de réaliser une étude paléoécologique des ostracodes de la famille des Cytherellidae au cours des deux événements anoxiques océaniques EAO 1 et EAO 2. Il s'agit d'une synthèse bibliographique approfondie dont le but est de suivre et de comprendre la stratégie adaptative de cette famille dans des bassins téthysiens et atlantiques face aux conditions de crise.

III.2. Méthodes de travail

La méthode adoptée est une approche bibliographique. Elle s'appuie sur la collecte l'étude et la synthèse des thèses, d'articles et de mémoires. À partir de ces travaux, nous avons rassemblé les données lithostratigraphiques, la répartition des ostracodes et les interprétations paléoécologiques.

DEUXIEME CHAPITRE

Chapitre 2 : Étude lithostratigraphique et répartition des ostracodes dans les bassins téthysiens et atlantiques au cours des événements anoxiques océaniques I et II

I. Introduction

II. L'événement anoxique océanique I (EAO 1) dans les bassins téthysiens et atlantiques

II.1 Coupe de Beni Menir (bassin téthysien)

II.1 Coupe de Fastnet Basin (bassin atlantique)

III. L'événement anoxique océanique II (EAO 2) dans les bassins téthysiens et atlantique

III.1. Coupe de Bordj Omar Driss (bassin téthysien)

III.2. Coupe de Mohammed Plage – Bassin de Tarfaya (bassin atlantique)

IV. Conclusion

Chapitre 2 : Étude lithostratigraphique et répartition des ostracodes dans les bassins téthysiens et atlantiques au cours des événements anoxiques océaniques I et II

I. Introduction

Pour suivre les événements anoxiques océaniques : I (EAO 1 ou T-OAE), qui s'est produit au Toarcien inférieur, et II (EAO 2), qui touche le passage Cénomaniens–Turonien, l'étude lithostratigraphique s'est basée sur les levées de quatre coupes géologiques. Ces tronçons cadrant les épisodes d'anoxie EAO 1 et EAO 2 dans les bassins téthysiens et atlantiques comme suit :

- L'événement anoxique océanique I :

- Pliensbachien supérieur – Toarcien inférieur : bassin Atlantique, la coupe du bassin de Fasnet, située dans au large du sud-ouest de l'Irlande ;
- Toarcien inférieur : bassin téthysien, la coupe de Beni Menir, située dans les monts des Trara .

- L'événement anoxique océanique II :

- Cénomaniens–Turonien : bassin téthysien la coupe de Bordj Omar Driss (bassin de Tinrhert) (Sahara algérien);
- Cénomaniens : La coupe de Mohammed Plage, située dans le bassin de Tarfaya (sud du Maroc) Elle appartient au bassin atlantique.

II. L'événement anoxique océanique I (EAO 1) dans les bassins téthysiens et atlantiques

L'événement anoxique océanique I (EAO 1) est étudié à travers la coupe de Beni Menir et la coupe du bassin de Fasnet. Ces coupes enregistrent la transition Pliensbachien-Toarcien inférieur.

II.1 Bassin Téthysien :

Coupe de Beni Menir

II.1.1 Localisation géographique

La coupe de Beni Menir se trouve dans le nord-ouest de l'Algérie et occupe la partie occidentale des Monts des Traras. Elle est orientée NW (figure.1)



Figure 1 : Carte de localisation de la coupe de Beni Menir (photo Google Earth).

II.1.2. Contexte géologique

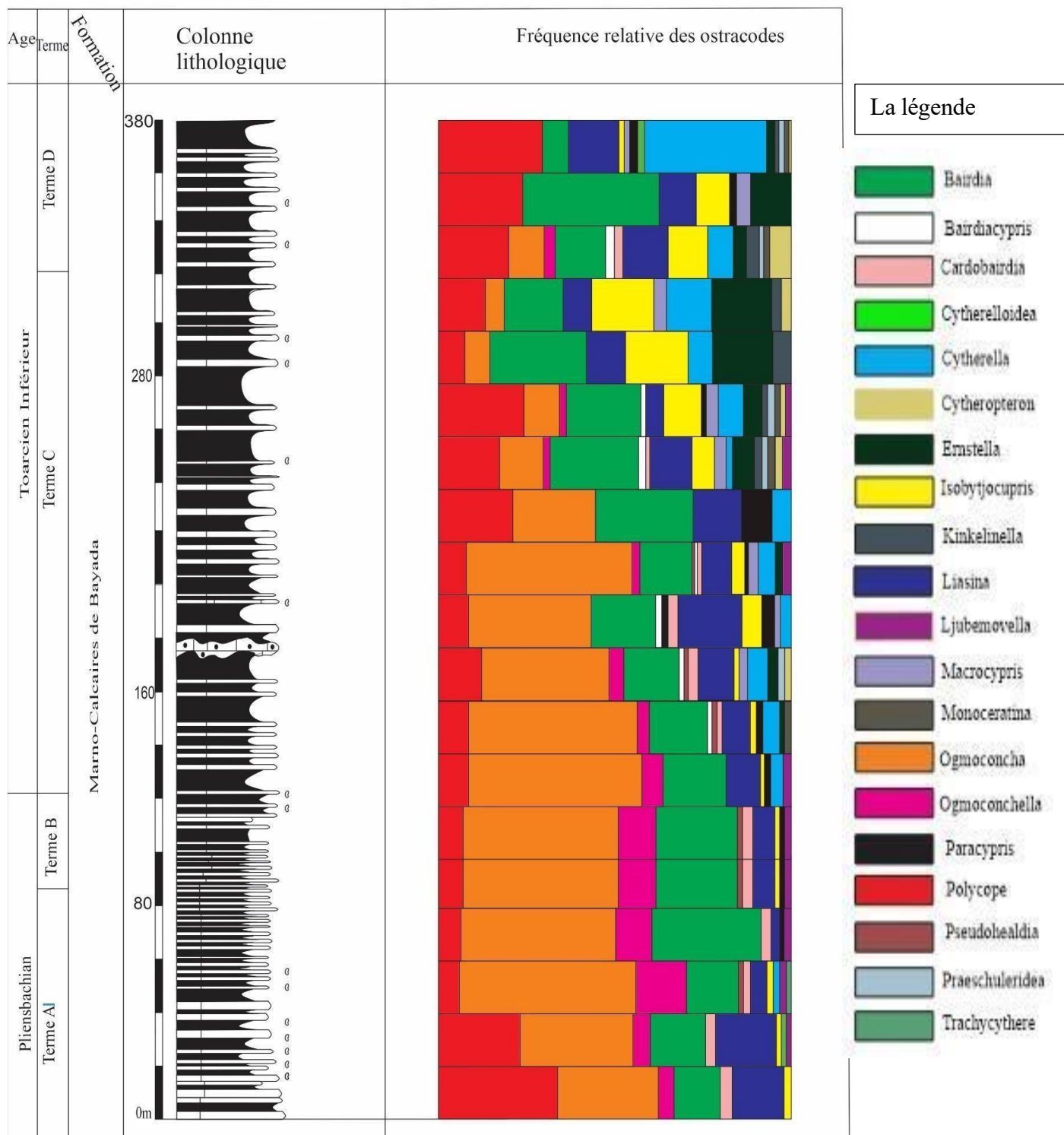
La série étudiée à Mellala a une épaisseur d'environ 57m. Elle est divisée en deux ensembles principaux : un membre inférieur et un membre supérieur (Ameur ,1999).

II.1.3. Importance de la coupe pour l'étude des événements anoxiques

La coupe de Beni Menir présente un grand intérêt lithostratigraphique et micropaléontologique. Elle enregistre la transition entre le Pliensbachian supérieur et le Toarcien inférieur, encaissant l'événement anoxique océanique majeur. L'ostracofaune est diversifiée, permettant un bon suivi des Cytherellidae.

II.1.4. Description lithostratigraphique (Figure. 2)

La terminologie utilisée est celle de Ameur (1999). L'étude lithostratigraphique et micropaléontologique est celle réalisée par Tchenar (2004).



La série de Beni Menir comprend deux membres : le membre inférieur, avec les deux termes A et B et le membre supérieur, comprenant les termes (C et D).

II.1.4.1 Le membre inférieur

a) Terme A

La base de la coupe est formée par une alternance marno-calcaire régulière et serrée, d'environ 9 m d'épaisseur. Les calcaires sont de couleur bleuâtre et épais de 0,05 à 0,10 m. Ce sont des bancs micritiques, bioturbés et bioclastiques. Leurs surfaces supérieures sont souvent effritées ; avec parfois des *Zoophycos*. Au sommet du terme, les calcaires deviennent pseudo-noduleux et ondulés.

Les marnes sont verdâtres et stratodécroissantes vers le sommet. Elles renferment quelques bélemnites, brachiopodes et ammonites. Les résidus de lavage montrent une fraction bioclastique abondante. Les marnes sont riches en oxydes de fer et en terriers oxydés. La calcite et la pyrite sont présentes.

L'ostracofaune est abondante dès la base du terme. Il est représenté par *Polycope cerasia*, *P. cincinnata*, *Liasina lanceolata*, *Bairdia donzei*, *Ogmoconcha amalthei* et *Cardobairdia* sp. Vers le sommet, de nouvelles espèces apparaissent, notamment *Cytherella toarcensis*, *Cytherelloidea drexlarae* et *Pseudohealdia bispinosa*.

La fréquence relative des ostracodes met en évidence la dominance du genre *Ogmoconcha*. Il est accompagné par *Polycope*, *Bairdia* et *Liasina*. Les Cytherellidae, représentés par *Cytherella* et *Cytherelloidea*, ne dépassent pas 1 % dans ce terme.

b) Terme B

Il correspond à une alternance marno-calcaire régulière et très serrée, d'environ 5 m d'épaisseur. Les calcaires noduleux et ondulés (0,05 à 0,10 m) alternent avec des marnes de presque la même épaisseur. La série reste bioclastique et bioturbée. Le contenu faunique est semblable à celui du terme précédent.

La microfaune est marquée par l'apparition de deux espèces nouvelles : *Pseudohealdia etaulensis* et *Bairdia carinata*. On note aussi la disparition de l'espèce *Ogmoconchella*

propinqua. Les ostracodes restent dominés par *Ogmoconcha* (48 %), accompagné par *Bairdia* (28 %) et *Ogmoconchella* (11 %).

II.1.4.2 Le membre supérieur

a) Terme C

Ce terme correspond à une alternance marno-calcaire plus dilatée que dans le membre inférieur. L'épaisseur des marnes atteint 2 m. Les calcaires noduleux ou ondulés mesurent environ 0,10 m. Ils contiennent des ammonites du Toarcien inférieur. Il débute par un banc de calcaires compacts (0,10 m) contenant de grands *Pallarpites* sp. Les calcaires sont micritiques et argileux, riches en filaments. Ils renferment des brachiopodes et des ammonites pyriteuses.

Les marnes sont très épaisses, dépassant parfois 1,50 m. Les résidus de lavage montrent un faciès oxydé, riche en terriers oxydés, en pyrite et en calcite. Le quartz reste peu abondant. La fraction bioclastique comprend des bivalves, des nucléus d'ammonites et de gastéropodes, des radioles d'oursin, des bélemnites, des crinoïdes, des ophiures et des dents de poisson.

Vers le sommet du terme, la macrofaune se raréfie. Les marnes deviennent indurées et schisteuses, atteignant 2 m d'épaisseur. Elles sont riches en pyrite.

L'ostracofaune connaît une évolution importante dans ce terme. Les espèces pleinsbachiennes sont progressivement remplacées par des formes typiquement toarciennes : *Cytherella toarcensis*, *Ernstella bucki*, *E. rugosa*, *Praeschuleridea pseudokinkelinella*, *Monoceratina vulsa* et *Cytheropteron alafastigatum*.

La fréquence relative des ostracodes montre une diminution des genres *Ogmoconcha* et *Ogmoconchella*. Cette baisse est compensée par le développement de nouveaux genres, notamment *Cytherella*, *Ernstella*, *Praeschuleridea* et *Cytheropteron*. Les Cytherellidae deviennent ainsi de plus en plus représentés dans la microfaune.

b) Terme D

Il s'agit d'une alternance marno-calcaire plus serrée, surtout vers le sommet. Les calcaires sont micritiques et ondulés. Leur épaisseur diminue de 0,15 m à la base à 0,05 m au sommet. Le macrofaune est presque absent, à l'exception de quelques ammonites en éboulis (Ameur, 1999).

Les marnes sont toujours schisteuses et indurées. Leur épaisseur se réduit au sommet (0,10 m). Les résidus sont très pauvres en quartz. La pyrite reste abondante.

Chez les ostracodes, le passage du terme C au terme D est marqué par la disparition d'un grand nombre d'espèces pliënsbachiennes, surtout chez les genres *Ogmoconcha* et *Ogmoconchella*. Leur association est dominée par *Cytherella toarcensis*. Elle est associée à *Kinkelinella sermoensis*, *Ernstella bucki*, *Cytheropteron alafastigatum*, *Monoceratina vulsa*, *Polycope cerasia* et plusieurs espèces de *Bairdia*.

II.2 Bassin Atlantique :

Coupe de bassin de Fasnet

La coupe du bassin de Fasnet enregistre l'événement anoxique océanique I dans le domaine atlantique. Elle est située au large du sud-ouest de l'Irlande et comporte la sédimentation marine du Pliënsbachien inférieur et du Toarcien supérieur-Aalénien. On y observe la réponse de la microfaune benthique, et particulièrement des ostracodes, face aux variations environnementales (Ainsworth, 1986).

II.2.1 Localisation géographique

Le bassin de Fasnet est situé au sud-ouest du bassin de la mer Celtique septentrionale (North Celtic Sea Basin) (figure 3), délimité par une ligne de direction nord-ouest (Robinson et al, 1981 ; Naylor et Shannon, 1982). Il est allongé et orienté selon une direction nord-est–sud-ouest. Il fait 110 km de long pour 35 à 40 km de large.

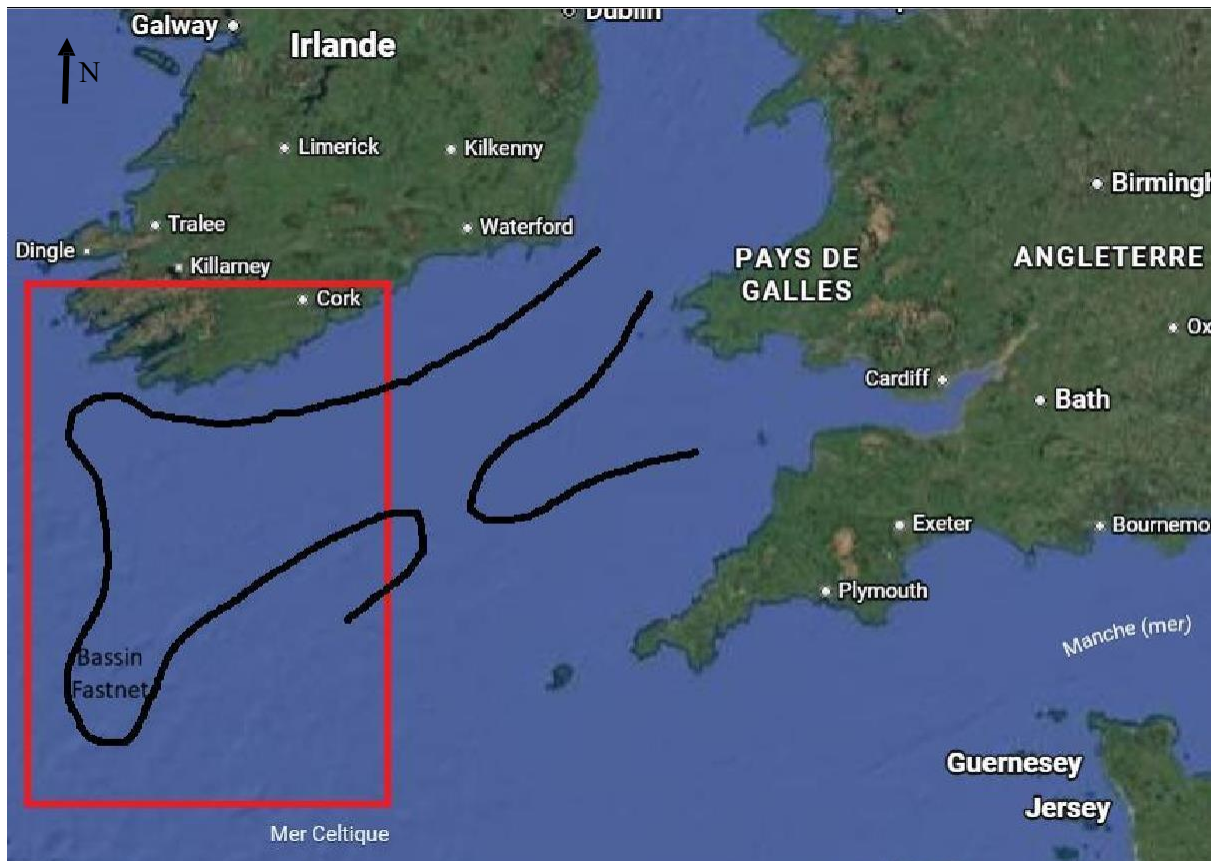


Figure 3 : Carte de localisation du bassin de Fastnet, au large du sud-ouest de l'Irlande (Google Earth).

II.2.2 Importance de la coupe pour l'étude des événements anoxiques

La coupe du Bassin de Fastnet renferme une grande diversité d'ostracodes. Elle représente donc un réel intérêt pour l'étude de l'évènement anoxiques océaniques I durant le Toarcien supérieur (Ainsworth, 1986).

L'étude de ce bassin permet d'analyser la transition entre le Pliensbachien, le Toarcien et l'Aalénien, permettant d'analyser la répartition verticale et latérale des ostracodes, et en particulier des Cytherellidae. Cette coupe fournit ainsi des informations précieuses sur les variations paléoécologiques et paléoenvironnementales associées à cette crise (Ainsworth, 1986).

II.2.3 Description lithostratigraphique

Le bassin de Fastnet présente deux grands groupes de sédiments. Le groupe de la basse date du Pliensbachien (Pliensbachien inférieur) (figure4), le groupe de la haute date du Toarcien

jusqu'à l'Aalénien (Toarcien supérieur - Aalénien) (figure 5). L'étude a été établie à partir des carottes de forage de huit puits du bassin (Ainsworth, 1986, 1987).

a) L'ensemble inférieur (Pliensbachien) (Figure. 4)

Pendant le Pliensbachien, les sédiments forment surtout une série argileuse. Ils viennent d'une source bien développée placée au nord-ouest du bassin. On y trouve aussi un peu de calcaire et quelques apports de roches détritiques.

Dans la partie basse (Pliensbachien inférieur), on observe deux types de roches. Au sud du bassin, ce sont surtout des argilites calcaires sombres, dures, plus ou moins fissiles, avec un peu de roches fines silteuses et du calcaire micritique gris. La pyrite et les restes de charbon y sont modérément. Au nord, les argilites restent dominantes, mais on trouve plus de roches silteuses dures et de grès fins, dont les grains vont de pointus à un peu arrondis ; le charbon et la pyrite y sont plus nombreux (Ainsworth, 1987).

Au Pliensbachien supérieur, se déposent essentiellement des roches argileuses et des argilites grises et dures, avec quelques couches de grès fins et de roches silteuses. La pyrite reste assez fréquente, mais en moindres quantités par rapport à la série précédente (Ainsworth, 1987).

Dans cette zone, les ostracodes sont peu nombreux. Au Pliensbachien inférieur, la microfaune est rare, voire absente. Au Pliensbachien supérieur, l'ostracofaune marque une diversité importante, dominant parfois les foraminifères. Deux familles dominent : les Bairdiidae et les Healdiidae. Les Cytherellidae sont absents (Ainsworth, 1987).

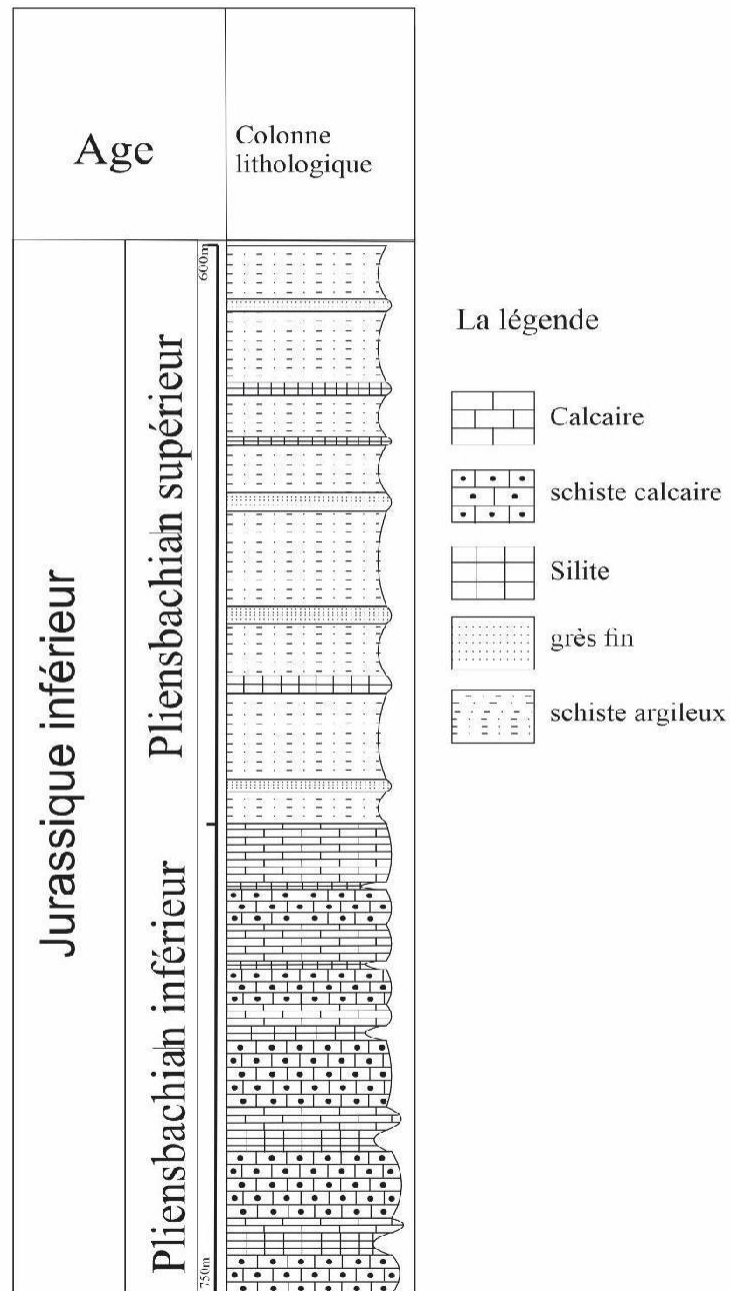


Figure 4: La coupe lithologique du bassin de Fastnet (d'après Ainsworth, 1986).

b) L'ensemble supérieur (Toarcien – Aalénien) (Figure. 5)

- Au Toarcien inférieur : la partie basse de cet ensemble correspond à des argilites gris foncé à noires, qui se séparent plus ou moins en feuilles, calcaires et souvent riches en pyrite. Elles deviennent plus claires (grises) quand elles contiennent du silt, et on y trouve un peu de grès, de calcaire et de dolomie. C'est la partie la plus argileuse et la plus fermée de la coupe. Le milieu marin y est limité, ce que montre bien le caractère pauvre des faunes (Ainsworth, 1986).

Au Toarcien supérieur – Aalénien : cet ensemble correspond à un milieu marin plus ouvert. La partie la plus haute est faite d'argiles fortement calcaires, avec de fines couches de grès fin, des traces de grès et de roche silteuse, ainsi que du lignite et de la pyrite. (Ainsworth, 1986).

La microfaune récoltée révèle la dominance des nodosariidés en association de rares *Reinholdella* spp, chez les foraminifères. Ces dernières sont moins nombreuses, et les formes pyriteuses y sont plus rares. Les ostracodes témoignent des conditions réductrices, propres à la période anoxique du Toarcien inférieur (Ainsworth, 1986).

Dans la séquence sus-jacente (Toarcien supérieur – Aalénien), les ostracodes sont variés et souvent nombreux. Beaucoup de niveaux contiennent le genre *Bairdia* en grande quantité. La plupart des genres trouvés sont typiques des sédiments marins de cet âge dans toute l'Europe du Nord-Ouest. Comme les ostracodes, les foraminifères sont variés et souvent nombreux, dominés par les nodosariidés avec de rares *Reinholdella* spp. (Ainsworth, 1986).

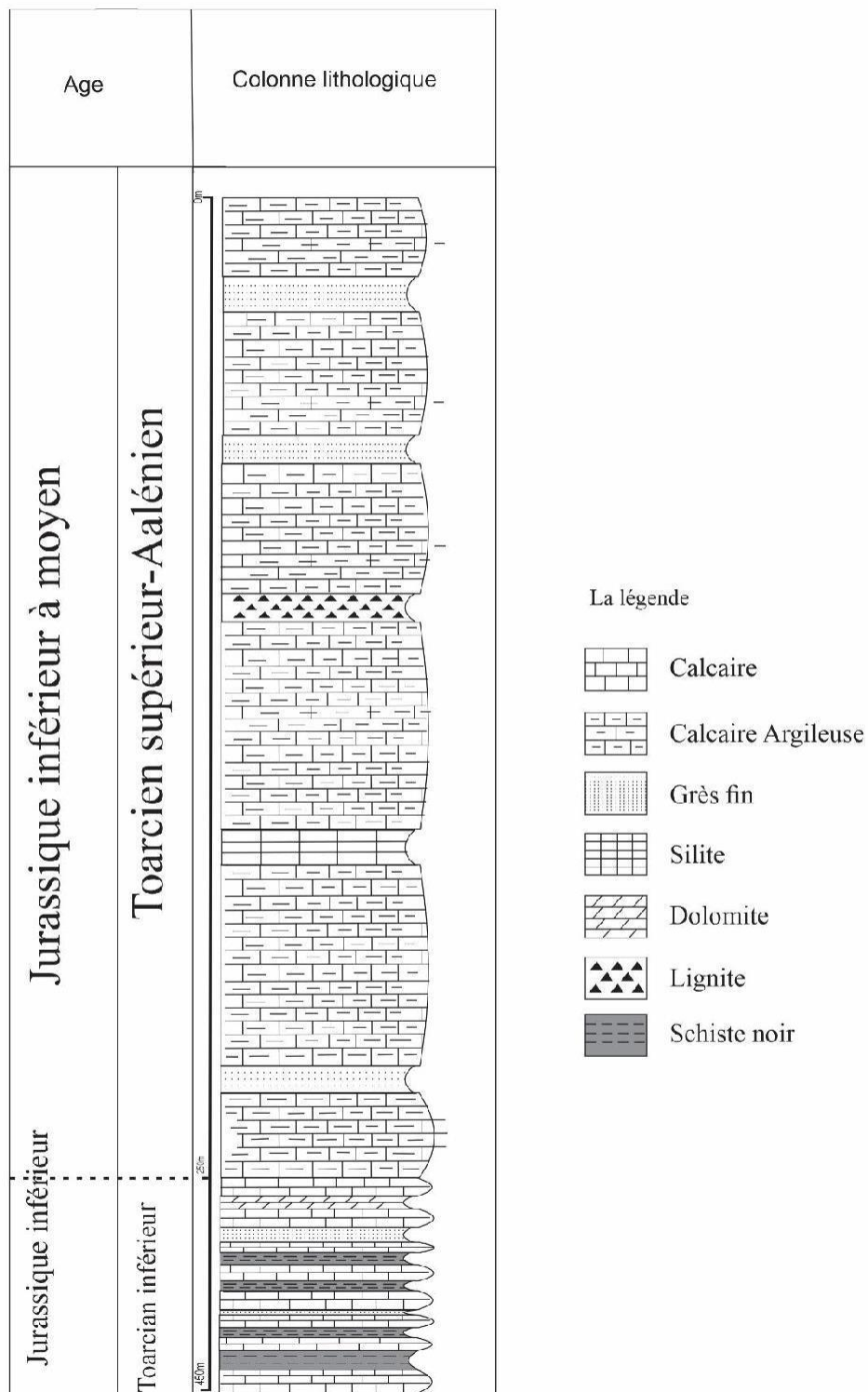


Figure 5 : La coupe lithologique du bassin de Fastnet (d'après Ainsworth, 1987).

III L'événement anoxique océanique II (EAO 2) dans les bassins téthysiens et atlantique

L'événement anoxique océanique II (EAO 2) s'est produit à la limite Cénomanién–Turonien, autour de 93,9 millions d'années. Il est étudié ici à travers deux coupes : la coupe de Bordj Omar Driss, située dans le bassin téthysien (Sahara algérien), et la coupe de Mohammed Plage, située dans le bassin atlantique (Tarfaya, Maroc). Cette double approche permet de comparer les réponses de la microfaune dans deux contextes paléogéographiques différents.

III.1 Bassin Téthysien :

Coupe de Bordj Omar Driss :

III.1.1 Localisation géographique

La coupe de Bordj Omar Driss (BOD) se trouve dans le Sahara algérien. Elle se situe dans la partie nord du bassin de Tinrhert. Ce bassin appartient à un vaste domaine sédimentaire qui s'étend entre l'Algérie, la Tunisie et la Libye. Sa direction générale est SW–NE (figure 6). Il couvre plus de 300 km de longueur, depuis la région d'El Biod en Algérie jusqu'à Rhadamès, dans le nord-ouest libyen.

Le secteur étudié est situé près du village de Bordj Omar Driss (Temasinine). Il se trouve à environ 1400 km au sud-est d'Alger, à une altitude moyenne de 346 m. La région est caractérisée par un paysage désertique. La surface est couverte par des dépôts caillouteux et des sables (Amédro et al., 1996).



Figure 6 : Localisation de la coupe de bordj Omar Driss google earth

III.1.2 Contexte géologique

Le bassin de Tinrhert est un bassin intracratonique installé sur la plate-forme saharienne stable. Cette plate-forme a enregistré une sédimentation marine pendant le Crétacé moyen. Les dépôts du Cénomaniens et du Turonien y sont bien conservés. Ils forment des corniches calcaires visibles dans le paysage (Busson, 1960).

La série étudiée a une épaisseur d'environ 73 m. Elle repose sur les grès continentaux d'âge Albien, qui ne sont pas visibles dans la région étudiée (Busson, 1960). La succession est divisée en deux ensembles principaux : un membre inférieur et un membre supérieur.

III.1.3 Importance de la coupe pour l'étude des événements anoxiques

La coupe de Bordj Omar Driss présente un intérêt scientifique majeur. Elle enregistre la transition entre le Cénomaniens et le Turonien. Cette période correspond à l'événement anoxique océanique 2, appelé OAE 2. Cet événement a provoqué une diminution importante de l'oxygène dans les océans. Il a aussi entraîné une crise biologique chez de nombreux organismes marins.

III.1.4. Description lithostratigraphique

Pour le découpage lithologique, la terminologie de Busson (1960) est adoptée. La série de Bordj Omar Driss comprend deux membres : le membre inférieur et le membre supérieur. Chaque membre est lui-même divisé en deux termes (terme A et terme B).

a) Le membre inférieur

- **Terme A : les argiles à gypse (Cénomaniens inférieur à moyen)**

La base de la coupe est formée par une sédimentation argileuse de couleur rougeâtre. Ces argiles sont très riches en gypse réticulé et en pyrite (Tchenar,al., 2020).

Quelques bancs calcaires apparaissent dans cette série argileuse. Ils contiennent des rognons ferrugineux. Ils se débitent souvent en plaquettes. Certains niveaux montrent des structures sédimentaires de type Hummocky Cross Stratification (HCS). Ces structures indiquent l'action des tempêtes dans un milieu peu profond (Tchenar,al., 2020).

Le microfaciès observé correspond à une micrite à laminations sombres et claires alternées. Ce type de faciès est caractéristique d'un milieu lagunaire (Kazi Tani, 1976). La fraction bioclastique est pauvre. On y trouve des Dasycladacées (cypéines), de rares dents de poissons et quelques plaques d'échinodermes (Tchenar,al., 2020).

Cependant, certains niveaux situés au sommet de ce terme livrent une ostracofaune intéressante. Les espèces *Cytherella parallela* (Reuss) et *Cytherella gigantosulcata* Rosenfeld sont les plus abondantes (Tchenar et al., 2020).

- **Terme B : les calcaires inférieurs (Cénomanién supérieur)**

Ce terme repose en transgression sur les argiles à gypse. Il forme la corniche du Cénomanién supérieur, bien visible dans le paysage. Il s'agit d'une dalle de calcaires massifs, fossilifères, intercalés de niveaux marneux. Les marnes deviennent plus fréquentes vers le sommet.

Ces calcaires sont riches en macrofaune. On y observe des oursins, des gastéropodes, des lamellibranches (notamment des Exogyres) et des terriers. Les ammonites récoltées par Amédéo et al. (1996) datent ce terme du Cénomanién supérieur.

Le microfaciès dominant est une biomicrite à clypéines et à filaments. Vers le sommet, les calcaires deviennent plus fins et partiellement dolomitiques. La diagenèse y est intense, ce qui rend les microfossiles parfois mal préservés (Tchenar et al., 2020).

- b) **Le membre supérieur**

- **Terme A : les marnes médianes (Turonien inférieur à moyen)**

Ce terme forme une grande combe d'érosion dans le paysage. La base n'est pas observable directement à Bordj Omar Driss (Busson, 1960). Il s'agit d'une épaisse série marno-gypseuse, riche en veinules de gypse. De fines passées de calcaires se débitent en plaquettes.

Les ostracodes sont représentés par : *Dolocytheridea atlasica* Bassoullet et Damotte, *Metacytheropteron berbericus* (Bassoullet et Damotte), *Cytherella parallela* (Reuss), *C. gigantosulcata* Rosenfeld, *Conchoecia cretacea* Pokorný, *Asciocythere galalensis* Szczechura et al. et *Paracypris mdaouerensis* Bassoullet et Damotte.

Vers la partie médiane et le sommet du terme, les marnes deviennent plus compactes. Elles prennent une couleur jaune verdâtre. Des bancs de calcaires crayeux apparaissent. Ils contiennent des oursins, des gastéropodes et des lamellibranches (Tchenar, 2016).

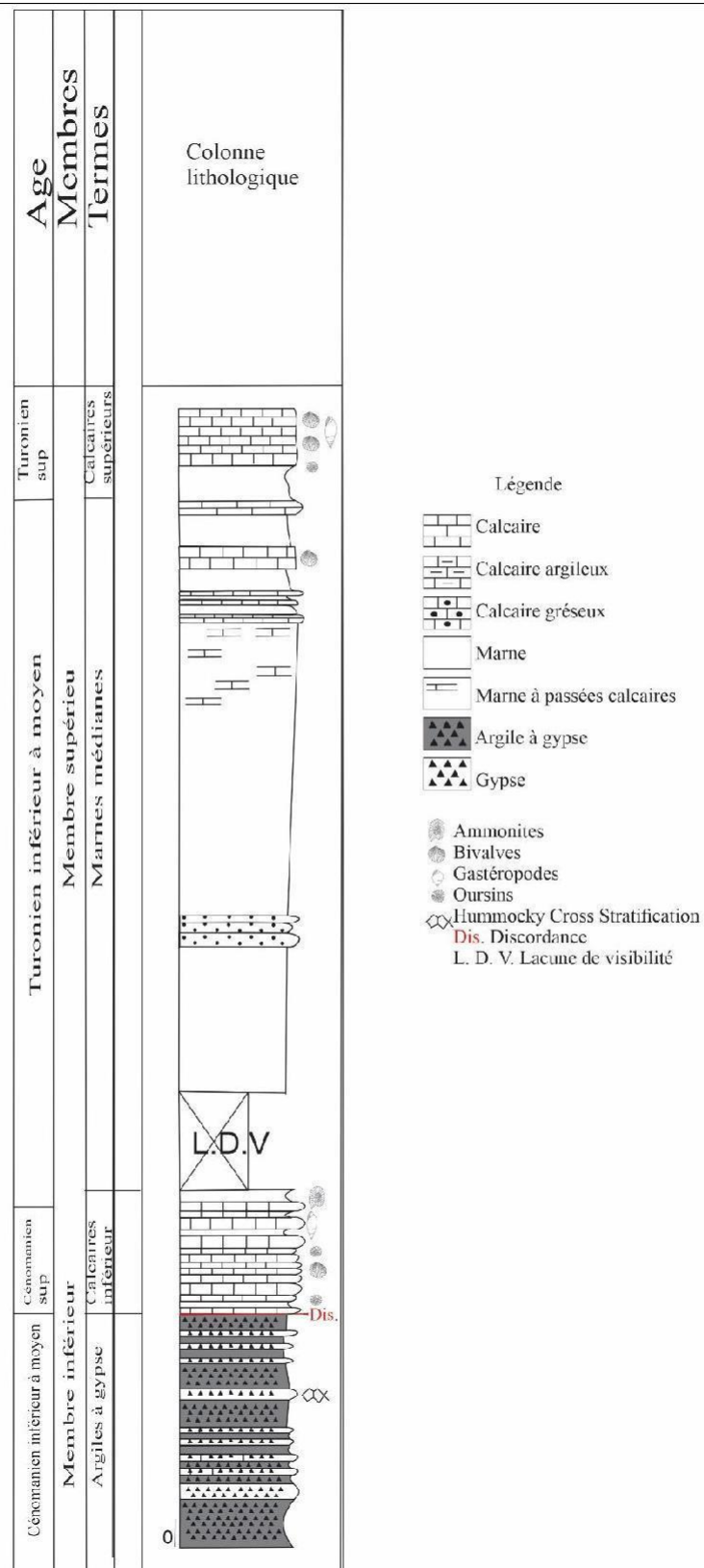


Figure 7: Coupe lithologique de Bordj Omar Driss (Tchenar, 2020).

Les résidus de lavage montrent une diminution progressive du gypse, de la pyrite et du quartz. En revanche, on observe une augmentation des éléments oxydés. Cela suggère une évolution vers un milieu plus oxygéné (Tchenar et al., 2020).

- **Terme B : les calcaires supérieurs (Turonien supérieur)**

Ce terme forme la corniche turonienne. Il est représenté par des bancs massifs de calcaires beiges. La base est riche en lamellibranches, oursins et gastéropodes d'âge Turonien supérieur (Busson, 1969 ; Tchenar, 2016). Au sommet, on observe une croûte ferrugineuse.

III.2 Bassin Atlantique :

Coupe de Mohammed Plage – Bassin de Tarfaya (bassin atlantique)

III.2.1 Localisation géographique

La coupe étudiée est la coupe côtière de « Mohammed Plage ». Elle se trouve sur la marge atlantique, au sud du Maroc, (figure 8). Plus précisément, elle est située à l'extrémité nord du bassin de Tarfaya, près de la ville de Tan-Tan (Gebhardt et Zorn, 2007). Cette coupe occupe une position stratégique entre la ville de Tarfaya, au sud, et Tan-Tan, au nord, dans un secteur où les affleurements du Crétacé supérieur sont bien exposés (Gebhardt et al., 2004).



Figure 8 : Carte de localisation de la coupe côtière de « Mohammed Plage », sud du Maroc (google earth)

III.2.2 Contexte géologique

Le bassin de Tarfaya appartient à la marge continentale passive du nord-ouest de l'Afrique. Cette marge est connue comme une zone d'up-welling depuis le Cénomanién inférieur (El Albani et al., 1999 ; Gebhardt et al., 2004). L'upwelling correspond à une remontée d'eaux profondes, froides et riches en nutriments vers la surface. Ce phénomène a fortement influencé la sédimentation et les conditions paléoécologiques de la région.

Les modèles de circulation océanique générale montrent que des cellules d'up-welling actives ont fonctionné pendant presque tout le Crétacé supérieur (Bush et Philander, 1997). Cette activité explique le développement d'une zone à minimum d'oxygène étendue sur la plateforme externe et dans les milieux plus profonds.

La coupe de Mohammed Plage est un site idéal pour étudier les variations paléoenvironnementales. Elle présente plusieurs avantages : une activité tectonique faible, un taux d'accumulation sédimentaire élevé, et un bon contrôle bio- et cyclostratigraphique (Kuhnt et Wiedmann, 1995 ; Kuhnt et al., 2001). La lithologie et la biostratigraphie de la coupe ont été bien décrites par Luderer (1999) et Gebhardt et al. (2004).

La paléo-profondeur de dépôt varie de 0 m à la base (présence de dépôts de plage) à environ 150 m au sommet (El Albani et al., 1999a, 1999b). La tendance générale est un approfondissement progressif du milieu. Cet approfondissement a été interrompu par au moins huit baisses du niveau marin (Gebhardt et al., 2004).

III.2.3. Importance de la coupe pour l'étude des événements anoxiques

La coupe de Mohammed Plage présente un grand intérêt scientifique pour l'étude de l'événement anoxique océanique 2 (OAE 2).

Dans la région de Tarfaya, l'effet de cet événement a été renforcé par le système d'up-welling. La combinaison de ces deux facteurs (anoxie globale + apports nutritifs intenses) crée des conditions paléoécologiques très particulières.

L'étude des ostracodes dans cette coupe permet de comprendre comment les microfaunes benthiques se sont adaptées à ces conditions difficiles. Elle apporte aussi des informations

précieuses sur les variations du niveau marin, l'oxygénation et les apports nutritifs pendant le Crétacé supérieur (Gebhardt et Zorn, 2007).

III.2.4. Description lithostratigraphique

La coupe de Mohammed Plage est subdivisée en plusieurs sous-sections (sections 1 à 9), de la base au sommet. La lithologie comprend principalement des argilites (claystones), des siltites (siltstones), des marnes, des calcaires et des grès. On observe également des lumachelles et des niveaux bioturbés (Luderer, 1999 ; Gebhardt et al., 2004). L'âge des dépôts couvre le Cénomanien inférieur jusqu'au Turonien basal.

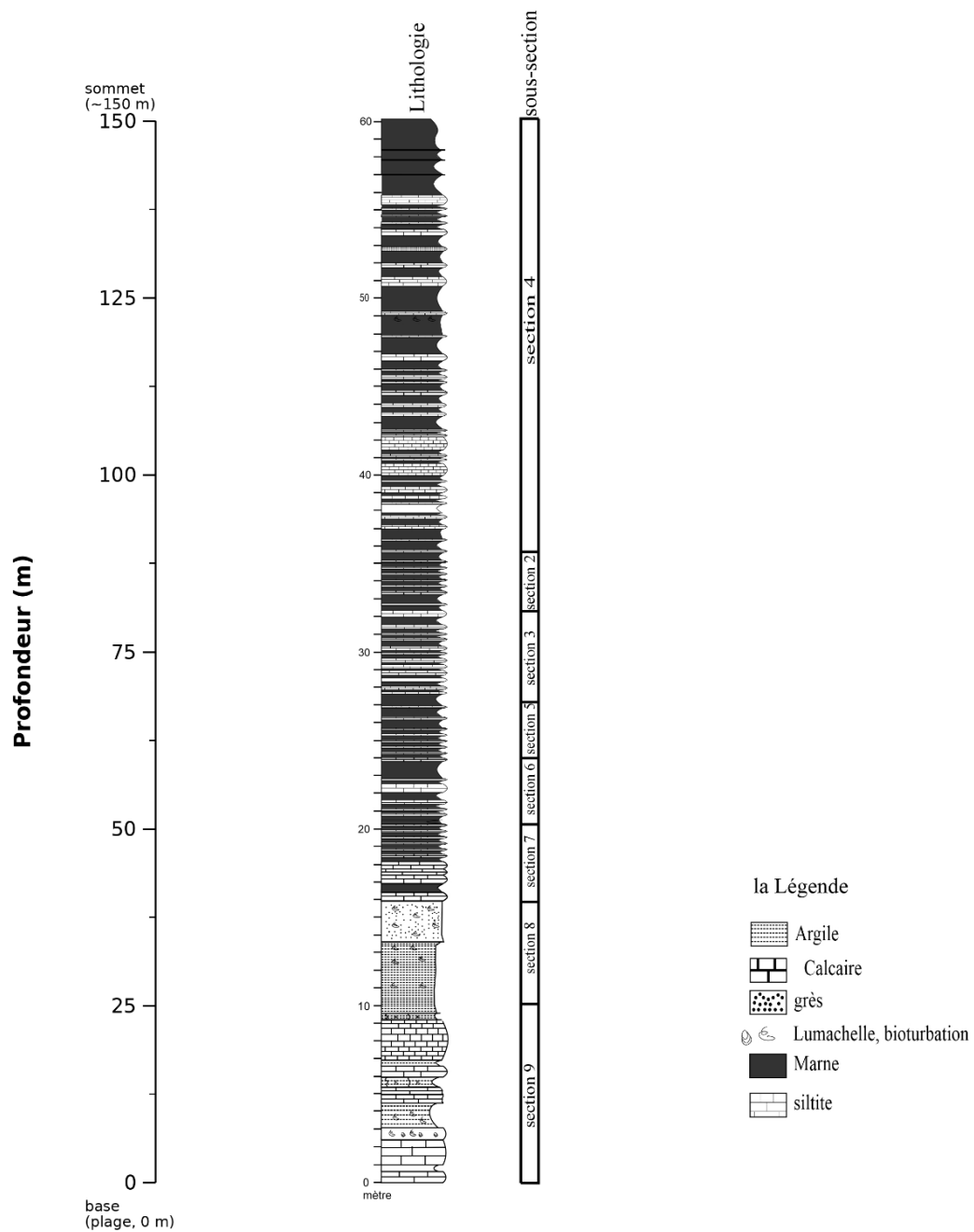


Figure 9 : Coupe lithologique de Mohammed Plage (d'après Gebhardt et Zorn, 2007).

a) . La partie inférieure de la coupe

- **La base de la coupe (sections 8 et 9, Cénomanién inférieur)**

La lithologie de cette partie comprend des grès et des calcaires bioclastiques. (El Albani et al., 1999b). Elle marque le début de la transgression cénomaniénne sur la marge atlantique marocaine.

- **La partie moyenne inférieure (sections 6 et 7, Cénomanién inférieur à moyen)**

Cette partie de la coupe est dominée par une alternance de marnes et de calcaires. La lithologie inclut aussi des argilites et des siltites. Des niveaux de lumachelles et des passées bioturbées y sont visibles (Gebhardt et Zorn, 2007).

Le contenu en carbone organique total (COT) reste relativement bas dans cette partie. La paléo-profondeur augmente progressivement, restant inférieure à 80 m. Cette évolution traduit une transgression progressive marquée par des oscillations du niveau marin.

L'oxygénation du fond marin est globalement bonne, mais elle subit des fluctuations. Plusieurs périodes de déficit en oxygène (OD, « oxygen deficiency ») de courte durée sont enregistrées. Elles correspondent aux hausses du niveau marin notées SLR 2, SLR 3 et SLR 4 (Gebhardt et al., 2004).

L'ostracofaune de cette partie est riche et bien diversifiée. Le genre dominant est *Veenia*, avec l'espèce *Veenia rotunda* (Reyment, 1978) particulièrement abondante. Le genre *Brachycythere* est également bien représenté, surtout par les espèces *Brachycythere sapucariensis* (Krömmelbein, 1964), *B. ekpo* (Reyment, 1960) et *B. angulata* (Grékoff, 1951). Ces deux genres caractérisent les milieux peu profonds (Gebhardt et Zorn, 2007).

Le genre *Reticulocosta*, représenté par la seule espèce *Reticulocosta tarfayaensis* (Reyment, 1978).

La famille des Cytherellidae est représentée par *Cytherelloidea* aff. *melleguensis* (Damotte et Said, 1982). Sa fréquence reste modérée, comparable à celle de *Reticulocosta tarfayaensis* (Gebhardt et Zorn, 2007).

- **La partie moyenne supérieure (sections 3 à 5, Cénomanién moyen à supérieur)**

Cette partie correspond aux zones à *Rotalipora reicheli* et à *R. cushmani*. La lithologie reste à dominante marneuse et argilo-calcaire. Le contenu en COT commence à augmenter, ce qui indique une meilleure préservation de la matière organique dans les sédiments.

La paléo-profondeur continue d'augmenter, atteignant environ 100 m vers le sommet. Plusieurs hausses successives du niveau marin sont enregistrées (SLR 5, SLR 6 et SLR 7). Elles sont accompagnées de courts épisodes de déficit en oxygène (Gebhardt et al., 2004).

Dans cette partie, l'ostracofaune connaît un changement important. Les genres *Veenia* et *Brachycythere* atteignent leurs valeurs maximales d'abondance, puis diminuent progressivement vers le sommet. *Brachycythere* peut atteindre jusqu'à 7,7 individus par gramme de sédiment sec (Gebhardt et Zorn, 2007).

L'espèce *Reticulocosta tarfayaensis* devient l'espèce dominante dans la partie supérieure de cette zone. Sa fréquence maximale atteint 6,1 individus par gramme. Le Cytherellidae *Cytherelloidea* aff. *melleguensis* montre une distribution très similaire à celle de *R. tarfayaensis*. Il atteint son maximum (1,1 individu par gramme) dans les mêmes échantillons (Gebhardt et Zorn, 2007).

Cette association indique que les Cytherellidae sont mieux adaptés que d'autres genres aux conditions de déficit temporaire en oxygène. Ils résistent aussi mieux que les autres aux apports nutritifs faibles à modérés.

- **La partie supérieure de la coupe (sections 1 et 2, Cénomanién supérieur à Turonien basal)**

Cette partie correspond au sommet de la zone à *Rotalipora cushmani* et à la zone à *Whiteinella archaeocretacea*. Elle correspond au pic de l'événement anoxique océanique 2 (OAE 2). La lithologie est dominée par des argilites sombres, parfois bitumineuses. Les marnes sont plus rares. Le contenu en COT atteint ses valeurs les plus élevées de toute la coupe, dépassant souvent 5 % et atteignant parfois plus de 10 % (Gebhardt et al., 2004).

La paléo-profondeur atteint son maximum, environ 150 m, soit légèrement en dessous de la limite d'action des vagues de tempête. La présence de tempestites est notée à environ 20 m sous le sommet de la coupe (El Albani et al., 1999a).

Cette partie est marquée par l'installation d'une période de déficit permanent en oxygène (« onset of permanent OD »). Les conditions deviennent franchement anoxiques à dysoxiques sur le fond marin. Ce changement majeur a des conséquences fortes sur la microfaune.

Les ostracodes deviennent très rares dans la plupart des échantillons de cette partie. Beaucoup de niveaux ne livrent aucun ostracode. Les genres *Veenia* et *Brachycythere* disparaissent presque complètement. *Brachycythere* disparaît même légèrement avant le début du déficit permanent en oxygène, ce qui montre sa grande sensibilité au manque d'oxygène (Gebhardt et Zorn, 2007).

La microfaune des derniers niveaux est représentée uniquement par quelques espèces tolérantes des conditions extrêmes. Le genre *Nigeroloxoconcha*, avec l'espèce *Nigeroloxoconcha* aff. *Aegyptiaca aegyptiaca* (Bassiouni et Luger, 1990), devient le plus fréquent (jusqu'à 1,2 individu par gramme). Quelques rares spécimens de *Xestoleberis* sp., *Cythereis* sp. Et *Pontocythere* sp. Sont aussi présents. Ces formes représentent la composante d'eaux plus profondes des associations (Gebhardt et Zorn, 2007).

La diversité spécifique chute brutalement : seulement 1 à 3 espèces par échantillon, contre 3 à 8 dans la partie inférieure. Chez les Cytherellidae, *Cytherelloidea* aff. *melleguensis* disparaît dans cette partie. Cette disparition s'explique soit par la profondeur trop importante, soit par les conditions anoxiques sévères. Selon Whatley (1991, 1995), *Cytherelloidea* est un genre thermophile généralement limité aux milieux peu profonds.

IV. Conclusion

Cette étude a permis de comparer la répartition des ostracodes pendant deux événements anoxiques océaniques majeurs : l'EAO 1 (Toarcien inférieur) et l'EAO 2 (limite Cénomanién–Turonien). Pour chaque événement, nous avons examiné deux coupes. Cette approche montre que malgré des contextes géographiques et des âges différents les microfaunes benthiques ont réagi de façon comparable face à la baisse de l'oxygène dans les océans.

Pendant l'EAO 1, les coupes de Beni Menir (Téthys) et de Fastnet (Atlantique) montrent une évolution semblable. À Beni Menir, les genres typiques du Pliensbachien, comme *Ogmoconcha* et *Ogmoconchella*, disparaissent peu à peu. Ils sont remplacés par les Cytherellidae, surtout le genre *Cytherella*, qui domine au sommet de la coupe. Cette dominance traduit l'installation d'un milieu défavorable à la plupart des ostracodes. Dans le bassin de Fastnet, on observe : les faunes deviennent pauvres et peu variées pendant la période anoxique du Toarcien inférieur, puis elles redeviennent diversifiées et nombreuses quand le milieu marin redevient plus ouvert et mieux oxygéné. Dans les deux bassins, la crise anoxique provoque donc un appauvrissement des microfaunes, suivi d'une domination des formes les plus tolérantes.

Pendant l'EAO 2, les coupes de Bordj Omar Driss (Téthys) et de Mohammed Plage confirment ce schéma général. À Mohammed Plage, les genres des milieux peu profonds, comme *Veenia* et *Brachycythere*, sont d'abord abondants, puis disparaissent presque complètement au moment du pic anoxique. La diversité chute brutalement et seules quelques espèces tolérantes, comme *Nigeroloxoconcha*, survivent dans les niveaux les plus pauvres en oxygène. On note toutefois une différence importante : à Mohammed Plage, *Cytherellidae* *Cytherelloidea* disparaît à cause des conditions trop profondes et trop anoxiques, alors que dans les autres coupes, les Cytherellidae résistent mieux que les autres ostracodes.

En conclusion, les deux événements anoxiques montrent une réponse commune des ostracodes un appauvrissement et une sélection des formes les plus résistantes — tout en révélant que l'intensité de la crise et les conditions locales influencent fortement la survie des différents genres.

TROISIEME CHAPITRE

Chapitre 3 — Étude Paléoécologique des Cytherellidae durant les EAO 1 & 2

- I. Introduction**
- II. . Conditions paléoenvironnementales durant les EAO 1 &2**
 - **II.1. Paramètres physico - chimiques du milieu :**
 - II.1.1 oxygène.**
 - II.1.2 température.**
 - II.1.3 la salinité**
- III. Réponse écologique des Cytherellidae à l'EAO 1 (Toarcien inférieur)**
 - **III.1. Variations de diversité et d'abondance**
 - **III.2. Espèces disparues — espèces renouvelées**
 - **III.3. Stratégies adaptative observées**
- IV. Réponse écologique des Cytherellidae à l'EAO 2 (Cénomaniens-Turonien)**
 - **IV.1. Variations de diversité et d'abondance**
 - **IV.2. Espèces disparues — espèces renouvelées**
 - **IV.3. Stratégies adaptatives observées**
- V. Analyse comparative EAO 1 / EAO 2**
 - **V.1. Points communs dans la réponse des Cytherellidae**

Chapitre 3 — Étude Paléoécologique des Cytherellidae durant les EAO 1 & 2

I. Introduction

Les deux chapitres précédents ont présenté le cadre général des événements anoxiques océaniques, puis l'étude lithostratigraphique et la répartition des ostracodes dans les quatre coupes retenues. Ils ont montré que, lors de chaque crise, la microfaune benthique s'appauvrit fortement et que la famille des Cytherellidae occupe une place particulière parmi les survivants.

Ce troisième chapitre a pour but d'approfondir cette observation par une étude paléoécologique centrée sur les Cytherellidae. Il s'agit de comprendre pourquoi cette famille résiste, en partie, aux conditions difficiles des EAO 1 et 2, et quels facteurs limitent parfois sa survie. Pour cela, nous examinons d'abord les conditions paléoenvironnementales (oxygène, température, salinité) qui caractérisent ces périodes. Nous analysons ensuite la réponse écologique des Cytherellidae à l'EAO 1, puis à l'EAO 2, en termes de diversité, de renouvellement des espèces et de stratégies adaptatives. Enfin, une analyse comparative met en évidence les points communs entre les deux événements et précise le rôle du contexte paléogéographique dans la résistance de cette famille d'ostracodes.

II. Conditions paléoenvironnementales durant les EAO 1 et 2

II.1. Paramètres physico-chimiques du milieu : oxygène, température et salinité

II.1.1 L'oxygène

L'oxygène est sans doute le facteur le plus critique pendant les événements anoxiques. Dans des conditions normales, les eaux de fond contiennent assez d'oxygène pour permettre la vie des organismes benthiques, dont les ostracodes. Mais pendant les EAO, l'oxygène dissous diminue fortement. Quand la matière organique s'accumule et n'est plus dégradée par les bactéries aérobies, des bactéries anaérobies prennent le relais et consomment encore plus d'oxygène (Picot, 2002). Le milieu devient alors dysoxique, puis carrément anoxique. La plupart des ostracodes ne supportent pas ces conditions et disparaissent. Seules quelques familles bien adaptées arrivent à survivre, notamment les Cytherellidae (Whatley, 1991, 1995).

II.1.2 La température

La température de l'eau influence aussi la répartition des ostracodes. Pendant l'EAO 1 et l'EAO 2, les océans étaient en moyenne plus chauds qu'aujourd'hui. Ces conditions de "climat de serre" (greenhouse) ont favorisé la stratification des eaux. Cette stratification empêche le mélange entre les eaux de surface, oxygénées, et les eaux de fond, ce qui cause l'anoxie. Certaines associations d'ostracodes deviennent caractéristiques de ces eaux chaudes.

Selon Whatley (1991, 1995), le genre *Cytherelloidea* est un genre thermophile préférant les milieux peu profonds et chauds. On retrouve cette observation dans la coupe de Mohammed Plage où *Cytherelloidea* aff. *melleguensis* disparaît au moment où la profondeur et l'anoxie deviennent trop importantes (Gebhardt et Zorn, 2007).

II.1.3 La salinité

La salinité joue un rôle dans la diversité des ostracodes. En milieu marin normal (entre 30 et 40 ‰), la diversité est la plus élevée. Dès qu'on s'éloigne de cette valeur, vers les eaux saumâtres ou hyperhalines le nombre d'espèces diminue (Carbonel, 1988, dans Picot, 2002). Pendant les EAO, les conditions de salinité peuvent varier localement. À Bordj Omar Driss, par exemple, la base du Cénomaniens montre des argiles à gypse rougeâtres, qui indiquent un milieu lagunaire restreint, parfois hypersalin (Tchenar, 2020). Ces conditions difficiles expliquent pourquoi seules quelques espèces très tolérantes comme *Cytherella parallela* et *Cytherella gigantosulcata* sont présentes dans ces niveaux (Tchenar et al., 2020).

En résumé, les EAO entraînent des conditions particulières : baisse de l'oxygène, hausse de température et parfois variations de salinité. Ces conditions sont défavorables à la plupart des ostracodes, mais les Cytherellidae arrivent à s'y adapter grâce à plusieurs stratégies qu'on va détailler plus loin.

III. Réponse écologique des Cytherellidae à l'EAO 1 (Toarcien inférieur)

L'EAO 1 s'est produit au Toarcien inférieur, autour de 183 millions d'années. Il est bien enregistré dans la coupe de Beni Menir dans les Monts des Traras (Tchenar, 2004). Cette coupe nous permet d'observer et de suivre l'évolution des Cytherellidae pendant cet événement, depuis le Pliensbachien supérieur (avant la crise) jusqu'au Toarcien inférieur (pendant et après la crise).

III.1. Variations de diversité et d'abondance

Dans le membre inférieur de la coupe de Beni Menir (Pliensbachian supérieur), la diversité des ostracodes est très élevée. On y trouve une riche association dominée par le genre *Ogmoconcha*, *Polycope*, *Bairdia* et *Liasina*. À ce stade les Cytherellidae sont présents mais discrets : le genre *Cytherella* et *Cytherelloidea* ne dépassent pas 1 % de la microfaune (Tchenar, 2004).

Dans le membre supérieur (terme C Toarcien inférieur) la situation change progressivement. Les genres dominants du Pliensbachian commencent à diminuer et de nouvelles espèces apparaissent, les Cytherellidae deviennent de plus en plus représentés. C'est dans le terme D que l'évolution est la plus claire : le genre *Cytherella* prend l'avantage atteignant entre 7 % et 37 % de l'ostracofaune, surtout vers le sommet (Tchenar, 2004).

Cette inversion est très significative elle montre qu'au moment où la majorité des ostracodes diminuent ou disparaissent les Cytherellidae persistent.

La même évolution se retrouve dans le bassin de Fastnet, au large du sud-ouest de l'Irlande (Ainsworth, 1987). Dans le faciès inférieur (Toarcien inférieur), qui correspond à un milieu de stagnation marine pauvre en oxygène, les faunes d'ostracodes sont très appauvries voire absentes, avec de nombreuses carapaces juvéniles. En revanche, dans le faciès supérieur (Toarcien supérieur à Aalénien), plus oxygéné et peu profond, les Cytherellidae deviennent abondants : l'espèce *Cytherella apostolescui* sp. nov. y est commune dans les sept puits étudiés, tandis que le genre *Cytherelloidea* (représenté par *Cytherelloidea lordi* sp. nov.) est présent en plus faible nombre (Ainsworth, 1987). On observe donc comme à Beni Menir, une augmentation de l'importance des Cytherellidae lorsque les conditions de milieu s'améliorent après la phase de stagnation liée à l'EAO 1.

III.2. Espèces disparues — espèces persistantes

Le passage du terme C au terme D dans la coupe de Beni Menir est marqué par une vraie crise faunique. Un grand nombre d'espèces Pliensbachiennes disparaissent à ce moment, surtout chez les genres *Ogmoconcha* et *Ogmoconchella* (Tchenar, 2004). Ces deux genres, qui

dominaient nettement la microfaune avant la crise deviennent presque absents à partir du Toarcien.

À l'inverse, les Cytherellidae résistent. L'espèce *Cytherella* devient l'espèce dominante des derniers niveaux. Elle est associée à quelques rares autres formes comme *Kinkelinella*, *Ernstella*, *Cytheropteron* ou encore *Polycope* (Tchenar, 2004).

On voit donc un remplacement progressif des faunes. Les espèces du Pliensbachien laissent la place aux espèces du Toarcien, qui sont en majorité des Cytherellidae. Cela montre que cette famille possède des caractéristiques qui la rendent plus capable à survivre dans des conditions d'anoxie.

Ce même renouvellement faunique est enregistré dans tout le Nord-Ouest de l'Europe au Toarcien inférieur. Ainsworth (1987) rappelle que la stagnation marine du Toarcien inférieur entraîne un grand renouvellement des faunes, dans lequel de nombreux taxons de l'Hettangien au Pliensbachien disparaissent au sein de la zone à *tenuicostatum*, leurs niches étant ensuite occupées par un nouveau cortège d'espèces et de genres. Dans le bassin d'Umbria-Marche (Italie centrale), Arias (1991) situe de même la crise biologique de la limite Pliensbachien–Toarcien à plusieurs niveaux de la zone à *tenuicostatum*, c'est-à-dire au tout début de l'EAO 1, avec de fortes extinctions touchant bien les ostracodes. Dans ces deux bassins comme à Beni Menir, les Cytherellidae (*Cytherella* et *Cytherelloidea*) figurent parmi les rares formes capables d'atteindre cet intervalle de crise, ce qui confirme leur statut de taxons opportunistes et tolérants face à l'anoxie.

III.3. Stratégies adaptative observées

Plusieurs auteurs ont essayé d'expliquer pourquoi les Cytherellidae résistent aux événements anoxiques. Whatley (1991, 1995) a proposé ce qu'il appelle le "platycopid signal". Selon lui, les Cytherellidae ont un système respiratoire particulier qui leur permet de vivre dans des eaux pauvres en oxygène. Ils filtrent un grand volume d'eau pour respirer, ce qui les rend plus efficaces que les autres ostracodes dans ces conditions difficiles.

Dans la coupe de Beni Menir, on observe aussi d'autres stratégies (Tchenar, 2004); L'étude des résidus de lavage montre que pendant les phases de stress (pyrite abondante, faibles apports terrigènes), les ostracodes développent rapidement leur stade adulte au lieu de rester

longtemps au stade jeune. Ce même phénomène a été évoqué par Boudchiche (1986) : dans des milieux confinés et pauvres en oxygène, pour les Cytherellidae, atteindre rapidement le stade adulte permet de diminuer le besoin en oxygène et de réduire la durée des phases juvéniles fragiles.

L'étude morphologique des espèces *Ogmoconcha amalthei*, *Liasina lanceolata* et *Cytherella toarcensis* sur la coupe de Beni Menir montre aussi des variations intéressantes (Tchenar, 2004) (Figure. 10). Pour *Cytherella toarcensis*, on observe une augmentation du rapport "longueur/hauteur" lors des phases régressives (élévation du niveau marin), ce qui correspond à un allongement de la carapace. L'évolution est l'inverse de celle de la courbe eustatique, ce qui montre que cette espèce répond bien aux changements du niveau marin et de la teneur en quartz dans les sédiments.

L'espèce *Cytherella toarcensis* est ainsi représentée par des individus allongés et peu aplatis pendant les phases transgressives. Cette morphologie pourrait être une adaptation aux conditions énergétiques et environnementales particulières du milieu pendant les épisodes anoxiques.

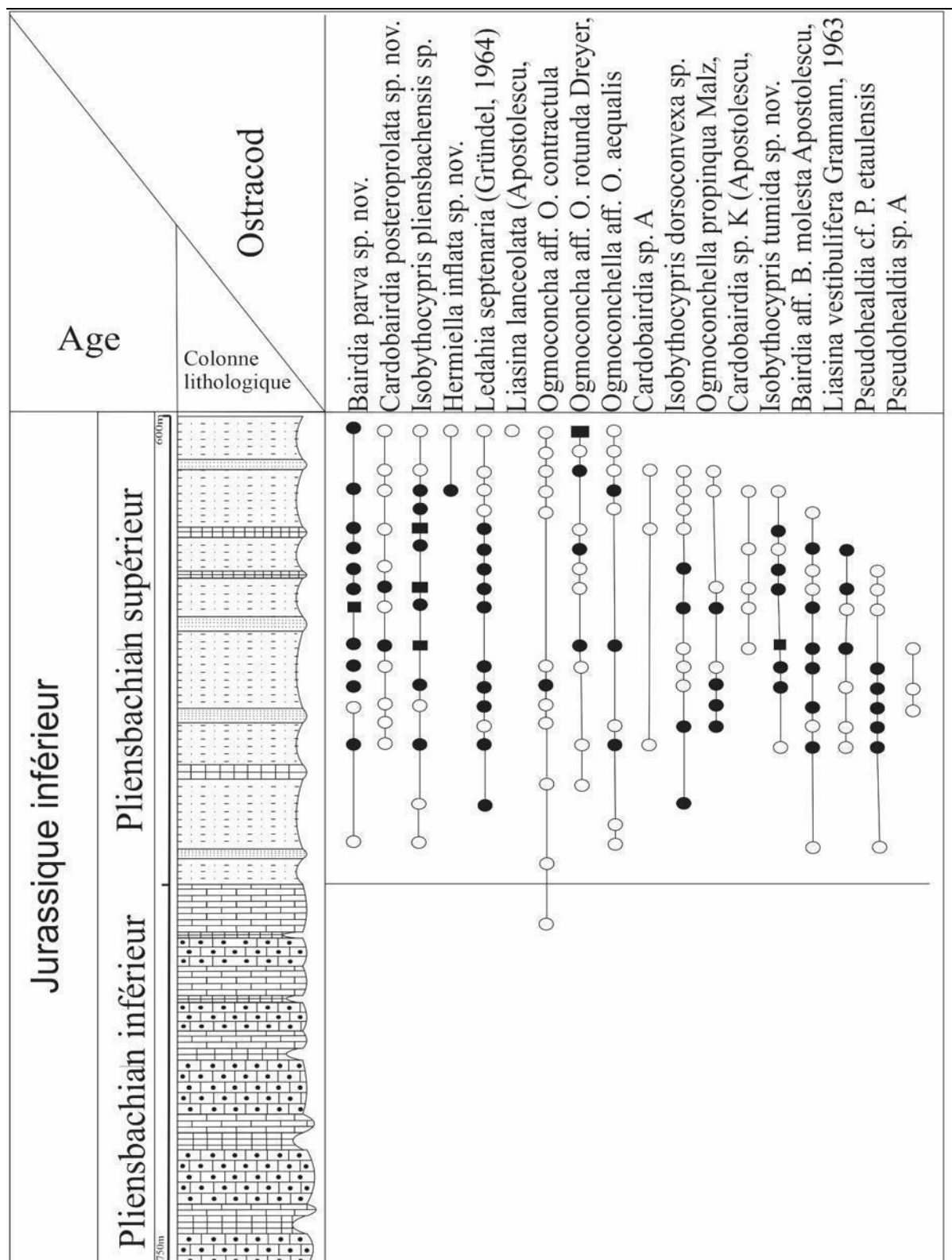


Figure 10 : La Répartition et abondance relative des ostracodes du pliembachien dans le bassin de Fastnet (d'après Ainsworth, 1986).

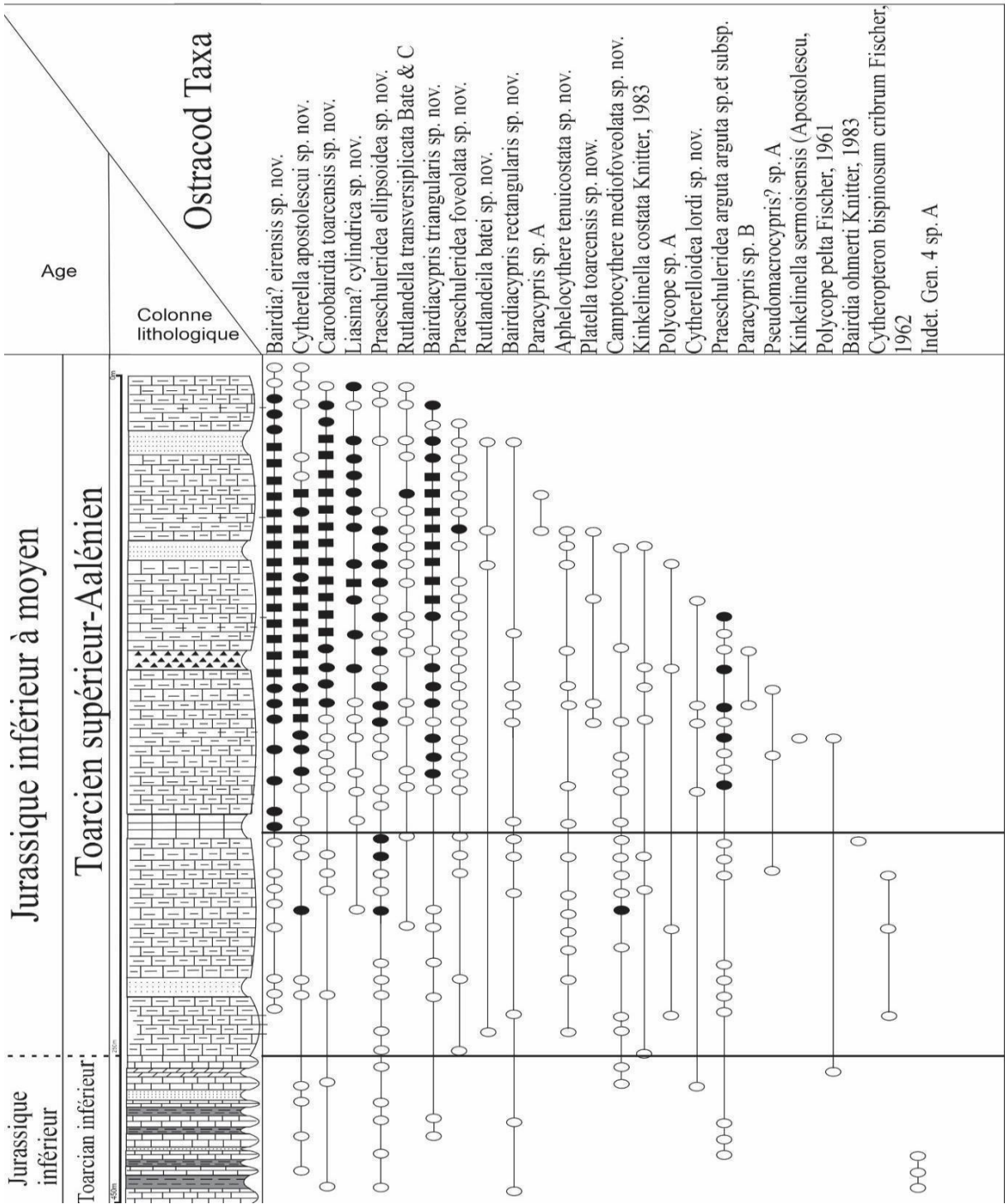


Figure 11 : la Répartition et abondance relative des ostracodes du Toarcien et de l’Aalénien dans le bassin de Fastnet (d’après Ainsworth, 1987).

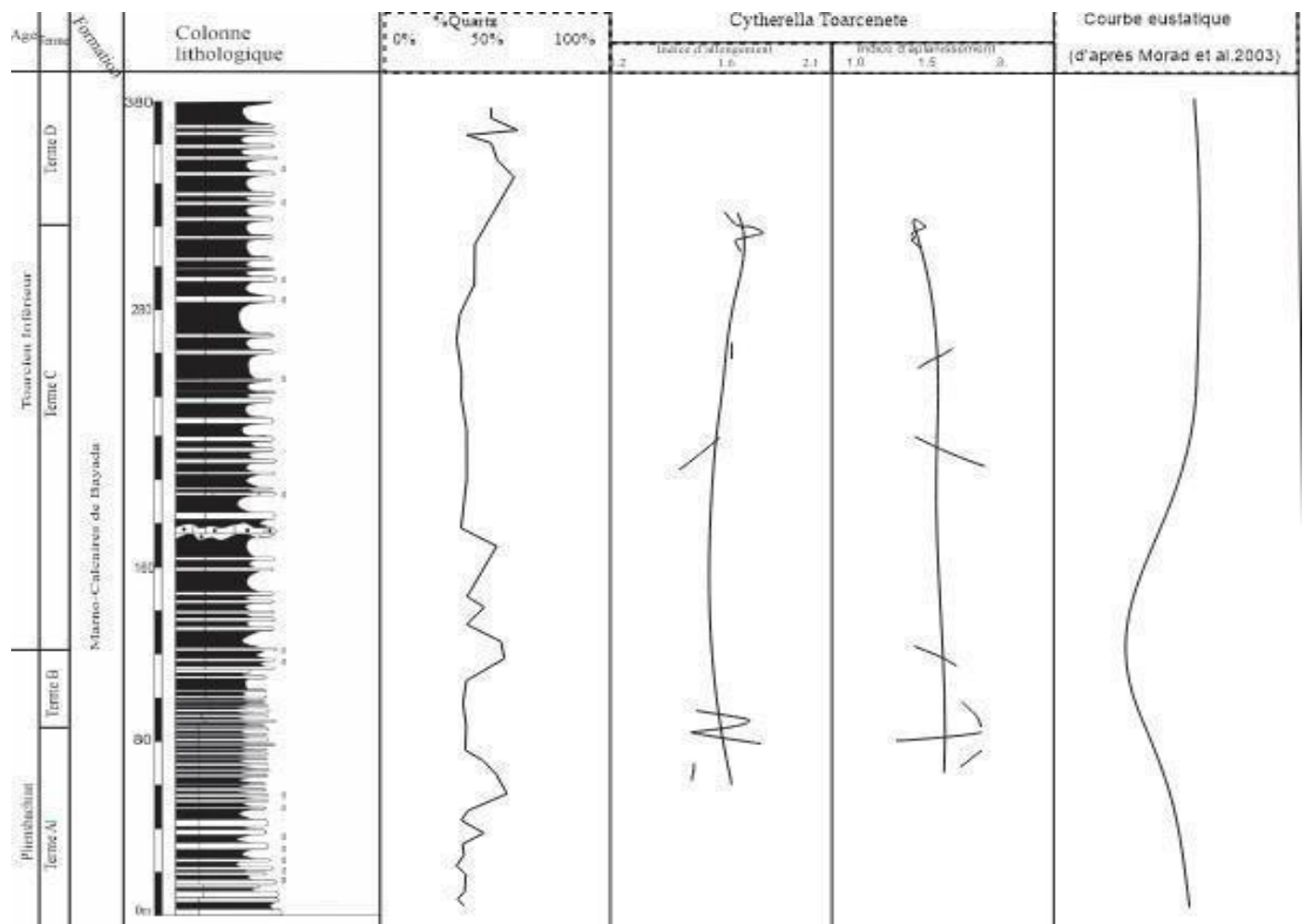


Figure 12 : Incidence des apports terrigènes (%quartz) et des variations eustatiques sur l'évolution morphologique des espèces *Cytherella Toarcensis* au passage plienschbachien supérieur – Torcenien inférieur (Beni Menir, Algérie nord-occidentale) (tchenar 2004)

Les caractères morphologiques décrits par Ainsworth (1987) dans le bassin de Fastnet vont dans le même sens. L'espèce *Cytherella apostolescui*, proche de *Cytherella toarcensis* Bizon, 1960 (l'espèce dominante de Beni Menir), possède une carapace de taille moyenne à grande, lisse et fortement calcifiée, à valve droite subellipsoïdale et valve gauche subrectangulaire. Elle présente un fort dimorphisme sexuel : les femelles sont plus allongées et plus hautes que les mâles et portent une poche incubatrice postéro-ventrale. Cette carapace épaisse et bien calcifiée, ainsi que la présence d'une poche d'incubation protégeant les juvéniles, constituent des avantages supplémentaires dans les milieux instables et appauvris en oxygène. Ainsworth (1987) distingue également une seconde forme, *Cytherella depressum* sp. nov., caractérisée par un sillon musculaire central profond et des marges antérieure et postérieure renflées, qui témoigne de la diversité morphologique du genre *Cytherella* à cette période.

Les descriptions systématiques détaillées d'Ainsworth (1987) précisent encore ces caractères. Chez *Cytherella apostolescui*, la surface de la valve est lisse (à l'exception d'une faible réticulation le long du bord marginal aplati), la charnière est simple et la carapace fortement calcifiée ; les valves femelles, plus grandes et plus hautes que les mâles, portent une unique poche incubatrice postéro-ventrale (cinq à six cicatrices musculaires subovales allongées). L'auteur la distingue de *Cytherella toarcensis* Bizon, 1960 par sa taille plus grande et une fosse musculaire moins nette, et de *Cytherella lindseyensis* Lord, 1974 (du Pliensbachien d'Angleterre) par sa taille supérieure et sa valve gauche plus subellipsoïdale. Quant à *Cytherella depressum*, son sulcus musculaire central profond la rapproche en contour de *Cytherella fullonica* Jones & Sherborn, 1886 (du Bajocien d'Angleterre), dont elle se sépare par un contour et un sulcus plus profond.

Pour résumer, la réponse des Cytherellidae à l'EO 1 montre trois adaptations principales :

- une résistance physiologique liée à un mode de respiration efficace (Whatley, 1991, 1995) ;
- une stratégie de développement avec maturation rapide pour réduire le besoin en oxygène (Boudchiche, 1986) ;
- des variations morphologiques (allongement, aplatissement) qui suivent les fluctuations du niveau marin et de l'environnement (Tchenar, 2004).

L'abondance de *Bairdia* dans beaucoup de puits dépend de la nature de la roche : une séquence de roches argileuses silteuses gris clair, molles et très calcaires, avec des couches de

silt et de sable. Le genre *Bairdia* se trouve souvent dans les milieux chauds, peu profonds et riches en carbonates, à toutes les époques géologiques. (Ainsworth, 1986).

Dans la série sommitale, le retour peu à peu vers un milieu marin plus ouvert et mieux oxygéné est marqué par le développement de la variété et du grand nombre d'ostracodes, indiquant la fin de la période réductrice liée à l'événement anoxique du Toarcien inférieur (Ainsworth, 1986).

IV. Réponse écologique des Cytherellidae à l'EAO 2 (Cénomaniens-Turonien)

L'EAO 2 s'est produit à la limite Cénomaniens-Turonien, autour de 93,9 millions d'années. C'est l'un des événements anoxiques les plus marqués de tout le Crétacé. L'évolution des Cytherellidae sera illustrée à travers deux coupes : Bordj Omar Driss, dans le bassin téthysien (Sahara algérien), et Mohammed Plage (Tarfaya, Maroc).

IV.1. Variations de diversité et d'abondance

Dans la coupe de Bordj Omar Driss (figure 13), l'évolution de la microfaune est très riche. La base du Cénomaniens (argiles à gypse) est un milieu lagunaire confiné avec une fraction bioclastique pauvre (Tchenar, 2020). Pourtant, certains niveaux livrent déjà des Cytherellidae : *Cytherella parallela* et *Cytherella gigantosulcata* y sont les espèces les plus abondantes (Tchenar et al., 2020). Cela montre que dès le départ, ce sont les Cytherellidae qui supportent le mieux les conditions difficiles.

Dans le membre supérieur (marnes médianes du Turonien inférieur à moyen), la microfaune est plus diversifiée. On retrouve les Cytherellidae mais aussi d'autres genres comme *Dolocytheridea atlasica*, *Metacytheropteron berbericus*, *Conchoecia cretacea* ou encore *Paracypris mdaouerensis* (Tchenar et al., 2020). Les conditions semblent donc s'améliorer un peu pour les autres ostracodes.

Dans la coupe de Mohammed Plage (figure 14), Dans la partie inférieure et moyenne de la coupe, la diversité des ostracodes est significative : on compte entre 3 et 8 espèces par échantillon. Les Cytherellidae, représentés par *Cytherelloidea* aff. *melleguensis*, sont présents

avec une fréquence modérée (jusqu'à 1,1 individu par gramme de sédiment sec) (Gebhardt et Zorn, 2007).

Mais dans la partie supérieure, qui correspond au l'EAO 2 (zone à *Whiteinella archaeocretacea*), la diversité chute brutalement à 1-3 espèces par échantillon.

Cytherellidae Cytherelloidea aff. *melleguensis* disparaît complètement dans cette partie. C'est une différence importante avec Bordj Omar Driss. Ceci s'explique par une anoxie forte et trop profonde.

IV.2. Espèces disparues — espèces renouvelées

À Mohammed Plage (figure 14), les espèces qui dominaient dans la partie moyenne de la coupe disparaissent presque toutes pendant l'EAO 2. Les genres *Veenia* et *Brachycythere*, qui étaient pourtant très abondants avant la crise (jusqu'à 7,7 individus par gramme) s'effondrent. *Brachycythere* disparaît même un peu avant la mise en place d'une faible oxygénation durable, ce qui prouve qu'il est très sensible à l'anoxie (Gebhardt et Zorn, 2007).

L'espèce *Reticulocosta tarfayaensis* et le *Cytherellidae Cytherelloidea* aff. *melleguensis* résistent mieux dans un premier temps. Ils montrent même une distribution très proche dans les niveaux moyens, ce qui suggère qu'ils ont des préférences écologiques similaires. Mais finalement, les deux espèces disparaissent dans la partie supérieure de la coupe.

Dans les derniers niveaux (les plus anoxiques), seules quelques espèces tolérantes survivent. À Bordj Omar Driss, la dynamique est différente. Les *Cytherellidae*, surtout *Cytherella parallela* et *C. gigantosulcata*, se maintiennent tout au long de la série, depuis la base du Cénomaniens jusqu'aux marnes médianes du Turonien (Tchenar et al., 2020).

IV.3. Stratégies adaptatives observées

L'étude des deux coupes (figure 13 et 14), permet de mettre en évidence plusieurs stratégies d'adaptation des *Cytherellidae* à l'EAO 2.

Premièrement, comme pour l'EAO 1, le "platycopid signal" de Whatley (1991, 1995) est présent. Les *Cytherellidae* sont capables de respirer dans des eaux à oxygène réduit grâce à leur mode de filtration. C'est exactement ce qu'on observe à Bordj Omar Driss, où *Cytherella*

parallela et *C. gigantosulcata* sont les premiers (parfois les seuls) ostracodes à apparaître dans les niveaux confinés.

Deuxièmement, les Cytherellidae montrent une grande tolérance à la salinité. Dans les argiles à gypse de Bordj Omar Driss, le milieu lagunaire était probablement hypersalin, comme l'indique la présence du gypse réticulé (Tchenar, 2020). Les autres ostracodes n'arrivent pas à coloniser ce milieu, contrairement aux Cytherellidae.

Troisièmement, leur préférence bathymétrique semble jouer un rôle important. Selon Whatley (1991, 1995), le genre *Cytherelloidea* est thermophile et préfère les milieux peu profonds. C'est ce qui explique sa disparition à Mohammed Plage quand la profondeur dépasse 100-150 m, alors qu'à Bordj Omar Driss (où le milieu reste globalement peu profond), les Cytherellidae persistent.

Quatrièmement, dans le bassin de Tarfaya, la combinaison "anoxie globale + up-welling intense" crée des conditions particulièrement défavorables. L'up-welling apporte beaucoup de nutriments, ce qui augmente la productivité de surface et donc la consommation et donc la compétition pour l'oxygène dans les eaux de surface. Sur le fond, le benthos se retrouve dans les conditions obscures et appauvries en oxygènes. Ces contraintes sont défavorables, même pour les Cytherellidae (Gebhardt et Zorn, 2007).

L'EAO 2 montre que les Cytherellidae ne résistent pas à toutes les contraintes environnementales. Leur résistance dépend du contexte paléogéographique : en milieu téthysien peu profond (Bordj Omar Driss) ils dominent ; en milieu profond avec up-welling (Mohammed Plage) ils finissent par disparaître. Cette différence entre les deux bassins est l'une des observations les plus intéressantes de ce travail.

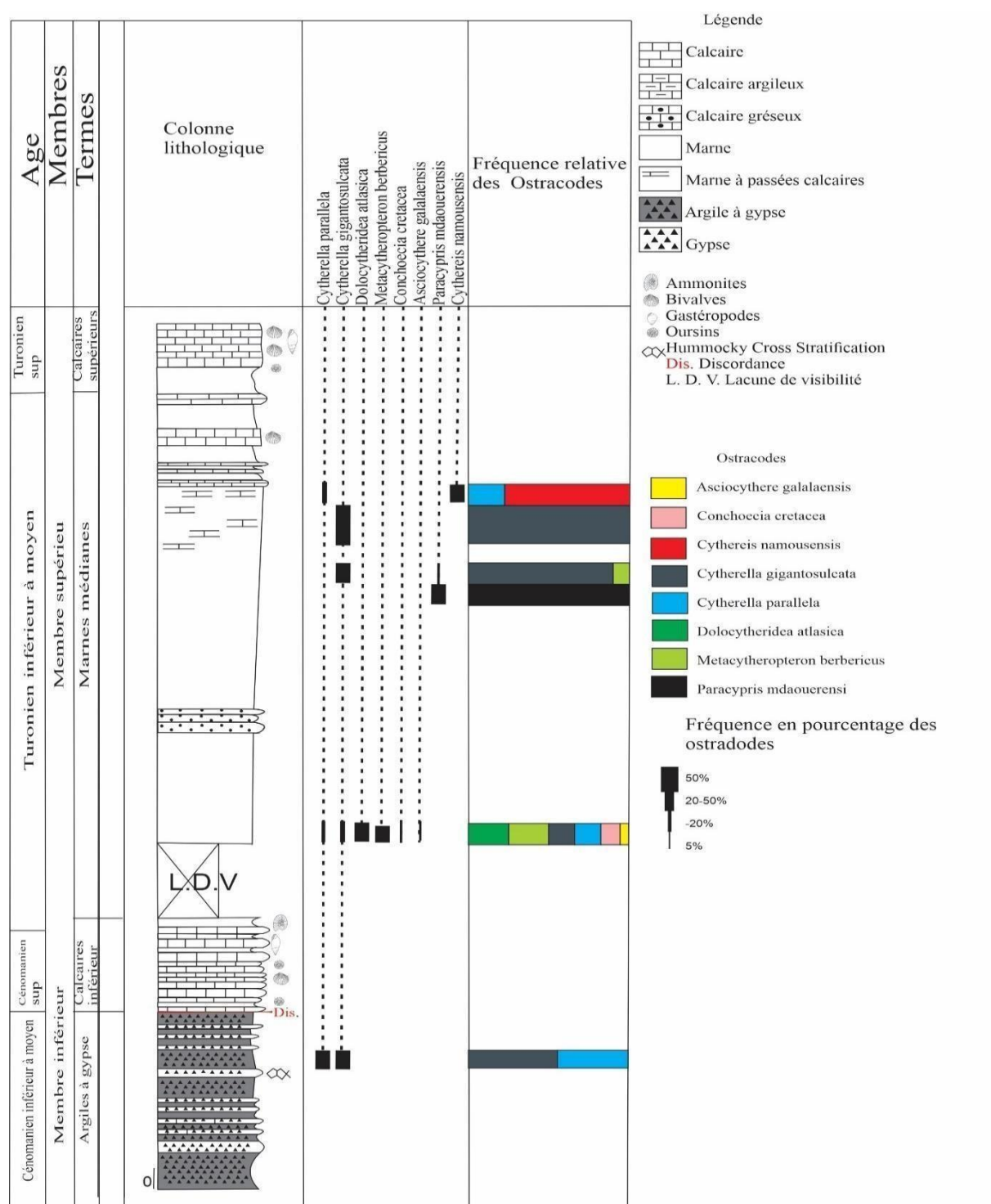


Figure 13 : Distribution et fréquence des ostracodes de la coupe de Bordj Omar Driss
(tchenar 2020)

V. Analyse comparative EAO 1 / EAO 2

Après avoir étudié séparément les deux événements anoxiques, on retient plusieurs remarques. Les Cytherellidae réagissent-ils de la même façon pendant l'EAO 1 et l'EAO 2 ? Existe-t-il des points communs entre les deux crises ? Et quelles évolutions morphologiques peut-on observer chez cette famille au cours du temps ?

V.1. Points communs dans la réponse des Cytherellidae

Plusieurs ressemblances apparaissent entre la réponse des Cytherellidae à l'EAO 1 et à l'EAO 2.

Le premier point commun est leur dominance écologique pendant les phases de crise. Dans les deux cas (Beni Menir pour l'EAO 1, Bordj Omar Driss pour l'EAO 2), les Cytherellidae deviennent les espèces les plus abondantes au moment où les autres ostracodes disparaissent. À Beni Menir, *Cytherella toarcensis* atteint jusqu'à 37 % de l'ostracofaune au sommet de la coupe (Tchenar, 2004). À Bordj Omar Driss, *Cytherella parallela* et *C. gigantosulcata* dominent dès les niveaux confinés du Cénomaniens inférieur (Tchenar et al., 2020), quand les conditions se dégradent, les Cytherellidae prennent la place laissée libre par les autres familles.

Le deuxième point commun est la disparition des espèces dominantes avant l'événement anoxique. Pendant l'EAO 1, ce sont les genres *Ogmoconcha* et *Ogmoconchella* qui disparaissent à Beni Menir (Tchenar, 2004). Pendant l'EAO 2, ce sont les genres *Veenia* et *Brachycythere* qui disparaissent à Mohammed Plage (Gebhardt et Zorn, 2007).

Le troisième point commun est la réduction globale de la diversité. Avant les EAO, les associations d'ostracodes comptent souvent plus de 8 ou 10 espèces par niveau. Pendant les crises, la diversité tombe à 1-3 espèces.

Le quatrième point commun, c'est le rôle de la salinité et de la profondeur. Quand le milieu reste relativement peu profond et confiné (Bordj Omar Driss au Cénomaniens, Beni Menir au Toarcien), les Cytherellidae résistent. Quand le milieu devient trop profond et trop anoxique (Mohammed Plage pendant l'EAO 2), même les Cytherellidae finissent par disparaître. Cette observation est cohérente avec les travaux de Whatley (1991, 1995) qui décrit Cytherelloidea comme un genre thermophile et peu profond.

VI. Conclusion

L'étude paléoécologique a montré que les Cytherellidae occupent une position particulière parmi les ostracodes face aux événements anoxiques océaniques. Pendant l'EAO 1 comme pendant l'EAO 2, ils deviennent dominants au moment précis où la plupart des autres familles disparaissent. Cette réussite repose sur un ensemble cohérent d'adaptations : une respiration filtreur efficace (le platycopid signal de Whatley), une maturation rapide qui réduit le besoin en oxygène, une grande tolérance à la salinité et des variations morphologiques liées aux fluctuations du niveau marin.

Toutefois, la comparaison des quatre coupes révèle une limite importante : la résistance des Cytherellidae n'est pas absolue. Elle dépend fortement du contexte paléogéographique. En milieu téthysien peu profond et confiné (beni Menir, Bordj Omar Driss), ils dominent et survivent à la crise. En milieu profond soumis à un upwelling intense (Mohammed Plage), la combinaison de l'anoxie globale et des apports nutritifs devient trop sévère, et même cette famille finit par disparaître.

Les Cytherellidae apparaissent donc comme de bons marqueurs paléoécologiques des milieux pauvres en oxygène, à condition de tenir compte de la profondeur et du régime trophique du bassin. Cette double lecture — résistance générale, mais sensibilité aux conditions extrêmes — constitue le principal apport de l'étude paléoécologique présentée dans ce chapitre.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Ce mémoire a porté sur l'étude paléoécologique des ostracodes de la famille des Cytherellidae au cours des deux principaux événements anoxiques océaniques du Mésozoïque : l'EAO 1, daté du Toarcien inférieur (≈ 183 Ma), et l'EAO 2, daté de la limite Cénomanién–Turonien ($\approx 93,9$ Ma). À travers une approche bibliographique et rétrospective, quatre coupes ont été comparées : Beni Menir et le bassin de Fastnet pour l'EAO 1 ; Bordj Omar Driss et Mohammed Plage pour l'EAO 2.

L'étude du cadre général a rappelé que les événements anoxiques océaniques sont des crises globales, marquées par une forte baisse de l'oxygène dissous, une hausse des températures, une stratification des eaux et le dépôt d'argiles noires riches en matière organique. Ces conditions, bien enregistrées dans les bassins téthysien et atlantique comme en Algérie, ont provoqué de sévères crises de la microfaune benthique.

L'étude lithostratigraphique et la répartition des ostracodes ont montré un schéma commun aux quatre coupes : un appauvrissement marqué des assemblages au cœur de la crise, suivi, lorsque le milieu se rouvre, d'un retour progressif de la diversité. Dans chacune de ces coupes, les Cytherellidae se distinguent par leur capacité à se maintenir là où les autres familles régressent ou disparaissent.

L'analyse paléoécologique a précisé les mécanismes de l'adaptation chez les Cytherellidae. Ce groupe bénéficie d'une respiration filtreur efficace (« platycopid signal »), d'une maturation rapide réduisant leurs besoins en oxygène, d'une forte tolérance à la salinité et de variations morphologiques en accord avec les fluctuations du niveau marin. Ces adaptations expliquent leur dominance écologique pendant les phases de crise, à Beni Menir comme à Bordj Omar Driss.

Néanmoins, le résultat le plus important de ce travail est la mise en évidence des limites de cette résistance. À Mohammed Plage (bassin de Tarfaya), la combinaison de l'anoxie globale et d'un up-welling intense, associée à un approfondissement du milieu, a entraîné la disparition même des Cytherellidae. La résistance de cette famille dépend donc étroitement du contexte paléogéographique, en particulier de la profondeur et du régime trophique.

En définitive, les Cytherellidae constituent de bons marqueurs paléoécologiques des milieux pauvres en oxygène, utilisables pour reconstituer les conditions des événements anoxiques, à condition d'intégrer les paramètres locaux de chaque bassin. Ce travail ouvre des perspectives pour de futures études, qui pourraient s'appuyer sur de nouvelles coupes, des analyses géochimiques complémentaires et une approche quantitative plus poussée des assemblages d'ostracodes.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- Ainsworth N. R. (1986) – Toarcian and Aalmen Ostracoda from Fasnet Basin, offshore southwest Ireland. *Bul. Geol.Surv. Ireland*, Dublin, n°3, pp.277-286.
- Ainsworth N. R. (1987) – Pliensbachian Ostracoda from Fasnet Basin, offshore southwest Ireland. *Bul. Geol.Surv. Ireland*, Dublin, n°4.1, pp.41-45
- Amedro F., Busson G. ET Corneé A. (1996). – Révision des ammonites du Cénomani supérieur et du Turonien inférieur du Tinrhert (Sahara algérien). Implications biostratigraphiques. *Bulletin du Muséum national d'Histoire naturelle*, Paris, vol.18, pp.197-232
- Ameur M. (1999) - Histoire d'une plate-forme carbonatée de la marge sud téthysienne : l'autochtone des Traras (Algérie occidentale) du Trias supérieur jusqu'au Bathonien moyen. *Docum.Lab.Géol.Lyon*, n°150,399 p.,157 fig.,17 pl.
- Arias C. (1991). – Las asociaciones de Ostrácodos del Domeriense superior y Toarciense inferior de la Cordillera Ibérica. *Coloquios de Paleontología*, vol. 43, pp. 79–99.
- Bassiouni M. A. A. et Luger P. (1990). – Maastrichtian to early Eocene ostracoda from southern Egypt. Palaeontology, palaeoecology, paleobiogeography and biostratigraphy. *Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen*, vol 120, 755–928.
- Bassoulet J.-P. et Damotte R. (1969). -Quelques ostracodes nouveaux du Cénomano-Turonien du L'atlas Saharien occidental (Algérie). *Revue du micropaléontologie*, vol.12, pp.130-144.
- Bonarelli, G. (1891). Chimiostratigraphie comparative à haute résolution du niveau de Bonarelli, à partir de la coupe de référence de Bottaccione (Apennins d'Ombrie-Marches) et d'une coupe équivalente du nord-ouest de la Sicile : réponses cohérentes et contrastées à l'OAE2, n°4, vol.228, pp.266-285
- Boudchiche L. (1986). – Étude micropaléontologique du Domérien, Toarcien et Bajocien du massif des Béni Snassen orientaux (Maroc nord-oriental). Thèse de Doctorat de 3^e cycle, Université Lyon I, 190 p. (inédiée)
- Bush A. B. G. et Philander S. G. H. (1997). – The Late Cretaceous: simulation with a coupled atmosphere-ocean general circulation model. *Paleoceanography*. Vol 12, 495–516.
- Busson G. (1960). – Sur la coupe du Crétacé supérieur et de L'Éocène inférieur du Tinrhert centrale (Sahara Algérien), *Travaux de Recherche Sahariennes*, Vol .19, pp.141-149.
- Busson G. (1969). – Sédimentation, transgression et paléogéographie sur les grandes plates-formes du Mésozoïque : l'exemple du Cénomani Turonien du Nord-Est de la plate-forme saharienne et de Berbérie. *Bulletin de la société géologique du France*, vol.7, pp

- Donze, P., Colin, J.-P., Damotte, R., Oertli, H.J., Peypouquet, J.-P., Said, R., (1982). - Les ostracodes du Campanien terminal à l'Éocène inférieur la coupe du Kef, Tunisie nord occidentale. *Bulletin des Centres de Recherches Exploration-Production Elf-Aquitaine* vol.6, pp 273–335.
- EL Albani, A., Kuhnt, W., Luderer, F., Herbin, J.-P., Caron, M., (1999a.) Palaeoenvironmental évolution of the Late Cretaceous séquence in the Tarfaya Basin (southwest of Morocco). In : Cameron, N.R., Bate, R.H., Clure, V.S. (Eds.), *The oil and gas habitats of the South Atlantic. Special Publications Geological Society of London*, vol. 153, pp. 223–240.
- EL Albani, A., Vachard, D., Kuhnt, W., Chellai, H., (1999b). Signature of hydrodynamic activity caused by rapid sea-level changes in pelagic organic rich sediments, Tarfaya Basin (southern Morocco). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, vol.2 (329), pp 397–404.
- Gebhardt, H., Kuhnt, W., Holbourn, A., Gardin, S., Pujalte, V., Valloni, R., Abramovich, S. & Coccioni, R. (2010). Palaeoenvironmental changes during the Cenomanian–Turonian oceanic anoxic event (OAE 2): new insights from a southern Tethyan location. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 292, pp.1–14.
- Gebhardt H. ET Zorn I. (2007). – Cenomanian ostracods of the Tarfaya upwelling region (Morocco) as palaeoenvironmental indicators. *Revue de Micropaléontologie*, vol.50, pp.1-14.
- Gebhardt, H., Kuhnt, W., Holbourn, A., (2004). Foraminiferal response to sea level change, organic flux and oxygen deficiency in the Cenomanian of the Tarfaya Basin, southern Morocco. *Marine Micropaleontology*, vol. 53, pp. 133–158.
- Grekoff N. (1951). – Quelques ostracodes nouveaux du Sénonien supérieur du Cameroun. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, vol. 6, pp.53–59.
- Jenkyns, H.C. (1980). Cretaceous anoxic events: from continents to oceans. *Journal of the Geological Society of London*, vol.137, pp.171–188.
- Jenkyns, H.C. (1988). The Early Toarcian (Jurassic) anoxic event: stratigraphy, sedimentary, and geochemical evidence. *American Journal of Science*, vol .288, pp. 101–151.
- Jenkyns, H.C. (2010). Geochemistry of oceanic anoxic events. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol .11, pp.3
- Hesselbo, S.P., Gröcke, D.R., Jenkyns, H.C., Bjerrum, C.J., Farrimond, P., Morgans bell, H.S. & Green, O.R. (2000). Massive dissociation of gas hydrate during a Jurassic oceanic anoxic event. *Nature*, vol .406, pp. 392–395

-
- Kazi tani N. (1986). – Évolution géodynamique de la bordure nord-africaine : le domaine intraplaque nord algerien, approche séquentielle. *Thèse sd. Université de Pau*, vol.3, pp.871.
- Krömmelbein K. (1964). – Ostracoden aus der marinen Küsten-Kreide Brasiliens : *Brachycythere (Brachycythere) sapucariensis* n. sp. aus dem Turonium. *Senckenbergiana Lethaia*, vol. 45, pp. 489–495.
- KUHNT, W., WIEDMANN, J., (1995). Cenomanian-Turonian source rocks : paleobiogeographic and paleoenvironmental aspects. In : Huc, A.-Y. (Ed.), *Paleogeography, Paleoclimate and Source Rocks. Studies in Geology 40, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa*, pp. 213–232.
- Kuhnt W., Chellai e. H., Holbourn A., Luderer F., Thuro J., Wagner T. (2001). – Morocco basin's sedimentary record may provide correlations for Cretaceous paleoceanographic events worldwide. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, vol.82, pp. 361–364.
- Leckie, R.M., Bralower, T.J. & Cashman, R. (2002). Oceanic anoxic events and plankton evolution: biotic response to tectonic forcing during the mid-Cretaceous. *Paleoceanography*, vol.17, pp.3
- Luderer F. (1999). – Das Cenoman / Turon Grenzereignis im Tarfaya Becken (SW Marokko). PhD Thesis, Christian-Albrechts Universität zu Kiel, Germany (inédit).
- Naylor,D.and SHANNON, P.M.1982.Fasnet Basin.In Naylor, D. and Shannon, P.M. (eds.). *The Geology of Off-shore Ireland and West Britain*, pp.49-58, Graham and trotman, London.
- Picot L. (2002). – Le Paléogène des synclinaux du jura et de la bordure sud-rhénane : Paléontologie (Ostracodes), paléoécologie, biostratigraphie, paléogéographie.vol.5, pp.151-153
- Reyment R. A. (1960). – Studies on Nigerian Upper Cretaceous and Lower Tertiary ostracoda. Part 1 : Senonian and Maastrichtian ostracoda. *Stockholm Contributions in Geology*, vol.7, pp. 1–238.
- Reyment R. A. (1978). – Quantitative biostratigraphical analysis exemplified by Moroccan Cretaceous ostracods. *Micropaleontology*.vol.24, pp. 24–43.
- Robinson, K. W., Shannon, P. M. and Young, D. G. G. 1981. The Fastnet Basin : An Integrated Analysis. In III-ing, L. V. and Hobson, G. D. (eds.). *The Geology of the Continental Shelf of North-West Europe*, pp.444-454, Heyden and Sons, London.

-
- Röhl, H.-J., Schmid-röhl, A., Oschmann, W., Frimmel, A. & Schwark, L. (2001). The Posidonia Shale (Lower Toarcian) of SW-Germany: an oxygen-depleted ecosystem controlled by sea level and palaeoclimate. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol 165, pp.27–52.
- Schlanger, S.O. & Jenkyns, H.C. (1976). Cretaceous oceanic anoxic events causes and consequences. *Geologie en Mijnbouw*, vol .55, pp.179–184.
- Tchenar. S. (2004). - Etude des ostracodes des séries liasiques des Monts des Traras (Mellala, Algérie nord occidentale). *Mémoire de Magister; Université d'Oran*. 137 p.; Inédit.
- Tchenar. S. (2016). – Evènements sédimentaire et évolution de la microfaune des séries Cénomano-Turonien en Algérie – bassin de Tinehert, SE Algérien. Thèse de Doctorat université Abou Bekr Belkaid Tlemcen. pp.14-156.
- Tchenar. S. Bruno F. Adaci.M. Zaoui. D. Benyouce. M. Bensalah. M. (2020). Incidences de l'Évènement Anoxique Océanique II sur l'évolution des ostracodes des dépôts cénomano-turonien du bassin du Tinehert (SE Algérie), *Carnets Géologique*. pp.145-149.
- Turgeon, S.C. & Creaser, R.A. (2008). Cretaceous oceanic anoxic event 2 triggered by a massive magmatic episode. *Nature*, vol .454, pp.323–326.
- Weissert, H. (1989). C-isotope stratigraphy, a monitor of paleoenvironmental change: a case study from the early Cretaceous. *Surveys in Geophysics*, vol .10, pp. 1–61.
- Whatley R. (1991). – The platycopid signal: a means of detecting kenoxic events using ostracoda. *Journal of Micropalaeontology*, vol.10, pp. 181–185.
- Whatley r. (1995). - Ostracoda and oceanic palaeoxygen levels.- *Mitteilungen aus dem Hamburgischen Zoologischen Museum und Institut*, Hambourg, vol. 92, p. 337-353

Liste des figures :

Numéro de figure	Titre de figure
1	Carte de localisation de la coupe de Beni Menir (photo Google Earth).
2	Coupe lithologique de Beni Menir, (Monts des Traras.) (Tchenar, 2004).
3	Carte de localisation du bassin de Fastnet, au large du sud-ouest de l'Irlande (Google Earth).
4	La coupe lithologique du bassin de Fastnet (d'après Ainsworth, 1986).
5	La coupe lithologique du bassin de Fastnet (d'après Ainsworth, 1987).
6	Localisation de la coupe de bordj Omar Driss google earth (kazi tani 2016)
7	la coupe lithologique de Bordj Omar Driss (Tchenar, 2020).
8	Carte de localisation de la coupe côtière de « Mohammed Plage », sud du Maroc (d'après Gebhardt et Zorn, 2007).
9	Coupe lithologique de Mohammed Plage : (d'après Gebhardt et Zorn, 2007).
10	La Répartition et abondance relative des ostracodes du plienschbachien dans le bassin de Fastnet (d'après Ainsworth, 1986).

11	la Répartition et abondance relative des ostracodes du Toarcien et de l'Aalénien dans le bassin de Fastnet (d'après Ainsworth, 1987).
12	Incidence des apports terrigènes (%quartz) et des variations eustatiques sur l'évolution morphologique des espèces <i>Cytherella Toarcensis</i> au passage pliënsbachien supérieur – Torzien inférieur (Beni Menir, Algérie nord-occidentale)(tchenar 2004)
13	Distribution et fréquence des ostracodes de la coupe de Bordj Omar Driss (tchenar 2020)
14	Distribution des ostracodes et variations du niveau marin, contenu en COT (d'après Gebhardt et Zorn, 2007).

ملخص

ركز هذا العمل على دراسة علم البيئة القديمة لقشريات ألوستراكوذا من عائلة سيتيريليدا الل حدثي نقص الأكسجين المحيطي الرئيسيين في حقبة الحياة الوسطى: حدث نقص الأكسجين في المحيط 1 (التورسي المبكر) وحدث نقص الأكسجين في المحيط 2 ألد الفاصل بين السينوماني والتوروني.

شملت مراجعة الأدبيات أربعة مقاطع جيولوجية: بني منير (مللة، جبال ترأس) وحوض فاستنت (أيرلندا) لحدث نقص الأكسجين في المحيط 1؛ وبرج عمر إدريس (حوض تنزهرت، الصحراء الجزائرية) وبحر محمد (حوض طرفاية، المغرب) لحدث نقص الأكسجين في المحيط 2. تحدد هذه المقاطع المناطق الجغرافية القديمة لبحر تيثيس أو المحيط الأطلسي.

تظهر الدراسة الميكروبيالوننتولوجية أنخفا "حاداً في أعداد ألوستراكوذا الل مراحل ألزمة البيئية، على عكس عائلة سيتيريليدا. فقد استمرت الأبرة في البقاء من الل تطوير نمط تنفس يعتمد على الترشيح، يعرف باسم "إشارة ألبتيكوبيد". تظهر هذه الكائنات قدرة على تحمل أملوحة وألتغيرات الشكلية.

وهي غائبة عن البيئات العميقة جداً ومناطق ألتيارات الصاعدة. الكلمات المفتاحية: تيثيس، المحيط الأطلسي، ألوستراكوذا، عائلة سيتيريليدا، حدث نقص الأكسجين في المحيط 1، حدث نقص الأكسجين في المحيط 2، العصر الطباشيري، العصر الجوراسي، علم البيئة القديمة.

Abstract

This study addresses the paleoecology of ostracods of the family Cytherellidae during the two major Mesozoic oceanic anoxic events: OAE 1 (lower Toarcian) and OAE 2 (Cenomanian–Turonian boundary).

The literature review focused on four geological sections: Beni Menir (Mellala, Traras Mountains) and the Fastnet Basin (Ireland) for OAE 1; Bordj Omar Driss (Tinrhert Basin, Algerian Sahara) and Mohammed Plage (Tarfaya Basin, Morocco) for OAE 2. These sites fall within Tethyan or Atlantic paleogeographic domains.

Micropaleontological analysis shows a marked decline in ostracod faunas during ecological crisis intervals, in contrast to Cytherellidae. The latter persist by developing a filter-feeding respiratory mode (the "platycopid signal"), exhibiting salinity tolerance and morphological variability. They are absent from very deep settings and from upwelling zones.

Key words: Tethys, Atlantic, ostracods, Cytherellidae, OAE 1, OAE 2, Cretaceous, Jurassic, paleoecology.

Résumé

Ce travail porte sur l'étude paléocéologique des ostracodes de la famille des Cytherellidae au cours des deux principaux événements anoxiques océaniques du Mésozoïque : l'EO 1 (Toarcien inférieur) et l'EO 2 (passage Cénomanien–Turonien).

Les recherches bibliographiques ont porté sur quatre coupes géologiques : Beni Menir (Mellala, Monts des Traras) et le bassin de Fastnet (Irlande) pour l'EO 1 ; Bordj Omar Driss (bassin de Tinrhert, Sahara algérien) et Mohammed Plage (bassin de Tarfaya, Maroc) pour l'EO 2. Elles cadrent les domaines paléogéographiques téthysien ou atlantique.

L'étude micropaléontologique montre une forte baisse chez l'ostracofaune, lors des phases de crise écologiques, contrairement aux Cytherellidae. Ces derniers persistent en développant un mode de respiration filtreur « platycopid signal »; une tolérance à la salinité ; ainsi que des variations morphologiques. Ils sont absents dans les milieux très profonds et dans les zones « remontées d'eau ».

Mots clés : Téthys, Atlantique, ostracodes, Cytherellidae, EAO 1, EAO 2, Crétacé, Jurassique, paléocéologique

