

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



FACULTE : SCIENCES DE LA TERRE

DEPARTEMENT : GEOLOGIE

THESE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT Troisième Cycle

En : Géologie

Par : KARA AHMED Imad

THEME

**Bioérosion des macro-invertébrés cénomaniens à Batna (Algérie) :
Ichnotaxonomie et signification paléo-environnementale.**

Soutenue publiquement le : **21 / 06 / 2023**, devant le jury composé de :

Pr. Chouabbi Abdelmajid (président du jury), Professeur à l'université de Badji Mokhtar Annaba.

Pr. Salmi-Laouar Sihem (directrice de thèse), Professeur à l'université de Badji Mokhtar Annaba.

Pr. Boughdiri Mabrouk (membre du jury), Professeur à l'université de Carthage.

Dr. Tlili Mohamed (membre du jury), Maitre de conférence A à l'université de Badji Mokhtar Annaba.

Pr. Chellat Smaine (membre du jury), Professeur à l'université de Constantine.

Année universitaire : 2022-2023

REMERCIEMENT

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ma thèse de doctorat en géologie. Cette étape importante de ma carrière académique n'aurait pas été possible sans l'aide, le soutien et les encouragements de nombreuses personnes.

Je tiens tout d'abord à remercier mon promoteur de thèse, le Professeur Slami-Laouar Sihem, pour son encadrement, son soutien et ses conseils tout au long de ce projet de recherche. Ces connaissances et ces expertises ont été inestimables pour la réussite de cette thèse.

Je souhaite transmettre mes sincères remerciements à Dr Riad Aouissi, pour son aide précieuse, de m'avoir accompagné sur le terrain et de m'avoir permis d'utiliser sa propre collection de fossiles et d'avoir toujours été présent pour répondre à mes questions.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements au Professeur Laouar Rabah pour son soutien inestimable tout au long de mon travail de thèse. Sa contribution à la traduction de mon article et sa disponibilité pour répondre à mes questions ont été d'une aide précieuse pour la réussite de ce projet. Sa sagesse, son expérience et sa passion pour la recherche ont été une source d'inspiration pour moi. Je suis reconnaissant pour son temps, ses conseils et sa précieuse aide.

Je suis également reconnaissant envers mes collègues de laboratoire en particulier Mr Brioua Hmed d'avoir toujours été là pour moi, et tous les autres collaborateurs qui ont travaillé avec moi sur ce projet. Leur contribution, leur expertise et leurs idées ont été essentielles à la réalisation de mes objectifs de recherche.

Je souhaite également remercier les organismes qui ont financés ma recherche, notamment [le laboratoire de hydrologie de l'université de Badji Mokhtar Annaba]. Leur soutien a permis de réaliser ce projet et de faire avancer la recherche dans le domaine de la géologie.

Je tiens à remercier ma famille mes parents, mon petit frère fares et mes amis en particulier Mr Bouguenara Mehdi qui m'ont soutenu tout au long de ma carrière académique. Leur amour, leur soutien et leurs encouragements ont été un pilier solide dans les moments de doute et de difficulté.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à ma femme Mm kara ahmed-belguendouz. S pour son soutien inconditionnel tout au long de cette aventure de thèse. Sa patience, son amour et son encouragement m'ont été d'une aide inestimable pour surmonter les moments difficiles et pour continuer à avancer malgré les défis. Je la remercie pour sa présence constante à mes côtés, pour ses encouragements quotidiens qui ont été une source d'inspiration pour moi. Je lui suis profondément reconnaissant pour son soutien et pour m'avoir permis de réaliser mon rêve de thèse.

Enfin, je souhaite remercier tous les membres de ma communauté scientifique qui ont contribué à mes projets de recherche, m'ont inspiré et m'ont encouragé tout au long de ma carrière académique. Je suis reconnaissant envers toutes ces personnes et institutions qui ont rendu possible la réalisation de ma thèse. Je suis impatient de continuer à travailler dans ce domaine passionnant et de collaborer avec vous tous dans des projets de recherche futurs.

RESUME

L'étude ichnologique des dépôts cénomaniens de 4 sections levées aux alentours de Batna : celle des Monts Bellezma, au Nord, représentée par le Djebel Metrassi, Théniet el Manchar et Djebel Hamla et celle des Aurès, au Sud, représentée par le Djebel Bouarif a révélé des communautés de sclérobiontes relativement abondantes et diversifiées préservées dans les coraux, les bivalves et les gastéropodes. Le registre fossile est dominé par des *Gastrochaenolites* exceptionnellement préservés, souvent avec des traceurs (bivalves), qui sont conservés in situ, *Entobia*, et *Maeandropolydora*. Les autres perforations sont rares et sont représentés par *Trypanites*, *Rogerella*, *Nihilichnus*, *Spirolites*. *Caulostrepsis*, *Talpina* et *Oichnus*. Parmi les sclérozoaires, les huîtres juvéniles encroûtantes et les bivalves non huîtres (*Pseudolimea ? granulata*) sont les groupes les plus abondants. D'autres épibiontes, tels que les gastéropodes et les polychenolithes (*Glomerula serpentina*), sont moins communs ; les gastéropodes nains étaient localisés sur une seule huître *Costagyra olisiponensis*, tandis que les spécimens de *Glomerula* étaient regroupés sur les surfaces inférieures et supérieures du corail *Aspidiscus cristatus*. Les *gastrochenolithes* avec les traceurs originaux et tous les épibiontes étudiés ici n'ont pas été décrits à ce jour dans les dépôts cénomaniens de la région de Batna. Les rares occurrences de *Spirolites* et *Nihilichnus* sur les sites sont rapportées pour la première fois en Algérie.

Mots clés : Bioerosion; sclérobiontes ; Crétacé supérieur ; sud Téthys ; domaine atlasique

Abstract

The ichnological study of the Cenomanian deposits of the 4 sections around Batna region: that of the Bellezma Mountains, in the North, represented by Jebel Metrassi, Théniet el Manchar and Jebel Hamla and that of the Aures, in the South, represented by Jebel Bouarif revealed relatively abundant and diverse sclerobiont communities preserved in corals, bivalves and

gastropods. The fossil record is dominated by exceptionally preserved *Gastrochaenolites*, often with tracers (bivalves), which are preserved in situ, *Entobia*, and *Maeandropolydora*. Other borings are rare and are represented by *Trypanites*, *Rogerella*, *Nihilichnus*, *Spirolites*. *Caulostrepsis*, *Talpina* and *Oichnus* Among the sclerozoans, encrusting juvenile oysters and non-oyster bivalves (*Pseudolimea? granulata*) are the most abundant groups. Other epibionts, such as gastropods and polychenoliths (*Glomerula serpentina*), are less common; dwarf gastropods were localized on a single oyster *Costagyra olisiponensis*, while *Glomerula* specimens were clustered on the lower and upper surfaces of the coral *Aspidiscus cristatus*. Gastrochenoliths with the original tracers and all epibionts studied here have not been described to date from Cenomanian deposits in the Batna area. The rare occurrences of *Spirolites* and *Nihilichnus* at the sites are reported for the first time in Algeria.

Keywords : Bioerosion ; sclerobionts ; Upper Cretaceous ; southern Tethys ; Atlasic domain

ملخص

الدراسة الإيكولوجية للرواسب السينومانية للأقسام الأربعة التي نشأت في منطقة باتنة: تلك الخاصة بمونت بلليزما في الشمال، ممثلة بجبل منراسي وثنييت المنتشر وجبل حملة والأوريس في الجنوب، تم تمثيلها بجبل بو عاريف كشفت عن مجتمعات صلبة وفيرة ومتنوعة نسبيًا محفوظة في الشعاب المرجانية وذوات الصدفتين وبطنيات الأرجل. يهيمن على السجل الأحفوري حصى المعدة المحفوظة بشكل الأبار. *Entobia* و *Maeandropolydora* استثنائي، غالبًا باستخدام مقتفيات (ذوات الصدفتين)، والتي يتم حفظها في الموقع، و من بين المجموعات *Oichnus*، *Talpina*، *Caulostrepsis*. الأخرى نادرة ويمثلها تريبانيتس، روجريللا، نيهليكوس، سيروليتس هي الأكثر وفرة. أما الأبييونات الأخرى، (*Pseudolimea granulata*) المتصلبة، المحار اليافع وذوات الصدفتين غير المحار (جلوميرولا سيربنتينا)، فهي أقل شيوعًا؛ تم وضع بطنيات الأقدام القزمية على محار *polychenolites* مثل بطنيات الأقدام و لم *Aspidiscus cristatus* كوستاجيرا أوليسيونينسيس، بينما تم تجميع عينات الكبيبات على الأسطح العلوية والسفلية من مرجان يتم وصف الحصيات المعوية مع أدوات التتبع الأصلية وجميع الأبييونات التي تمت دراستها هنا حتى الآن في الرواسب السينومانية في على المواقع لأول مرة في الجزائر *Nihilichnus* منطقة باتنة. تم الإبلاغ عن التكرارات النادرة للسيروليت و

الكلمات المفتاحية: جنوب الأطلسي؛ منطقة جنوب تيثيس؛ العصر الطباشيري العلوي؛ سكليروبيونت؛ التآكل البيولوجي

1	INTRODUCTION GENERALE	9
2	CHAPITRE I : GENERALITES	15
2.1	PRESENTATION ET OBJECTIFS DE TRAVAIL.....	15
2.2	MATERIELS ET METHODES	17
2.3	CADRE GEOGRAPHIQUE DES COUPES	18
2.4	HISTORIQUE DES TRAVAUX SUR LE CENOMANIEN DANS LA REGION DE BATNA.....	20
2.5	TRAVAUX SUR L'ICHOLOGIE EN ALGERIE.....	23
2.6	CONCLUSION	26
3	CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE	27
3.1	GEOLOGIE REGIONAL	27
3.1.1	Introduction.....	27
3.1.2	Litho-stratigraphie des monts des Aurès et ceux de Bellezma	28
3.2	Cadre structural.....	35
3.3	GEOLOGIE LOCALE.....	36
3.3.1	Introduction.....	36
3.3.2	Description des coupes	38
3.3.2.1	Unité A : Ammonites et marnes à huîtres exogyres.....	41
3.3.2.2	Unit B: Marnes a Aspidiscus cristatus	43
3.3.2.3	Unit C : Marnes à Néolobites vibrayeanus.....	44
3.3.2.4	Unit D : Calcaire a Caprinules	46
3.4	Conclusion	48
4	CHAPITRE III : ICHNOLOGIE	49
4.1	Introduction.....	49
4.2	Classification des traces fossiles.....	50
4.2.1	Classification morphologique	50
4.2.2	Classification éthologique	52
4.2.2.1	Les traces de repos (Cubichnia) :.....	52
4.2.2.2	Les traces de locomotion (Repichnia) :	52
4.2.2.3	Les traces de pacage (Pascichnia) :.....	52
4.2.2.4	Galleries de nutrition ou d'alimentation (Fodinichnia) :.....	52
4.2.2.5	Les traces de demeure ou d'habitat (Domichnia) :	52
4.3	Les ichnofacies.....	53
4.4	Les caractéristiques des principaux ichnofacies du domaine marin	55
	-Ichnofaciès à Nereites	59

4.5	Relation entre les types des substrats et les ichnofaciès.....	60
4.6	Ichnocoenoses et Ichnofabriques.....	62
4.7	Les Ichnocénoses du facies à Trypanites.....	62
4.7.1	Ichnosubfaciès à Gnathichnus :.....	62
4.7.2	Ichnosubfaciès à Entobia :.....	62
4.8	Conclusion	64
5	CHAPITRE IV : RESULTATS	65
5.1	Introduction.....	65
5.2	Liste des ichnotaxons	65
5.3	DISTRIBUTION DES COMMUNAUTES DE SCLEROBIONS SUR LES MACROSINVERTEBRES DU CENOMANIEN DE BATNA	66
5.4	Les différentes structures de bioerosion.....	67
5.5	Les ichnofacies.....	69
5.6	SYSTEMATIQUE.....	69
5.6.1	BIOEROSION	69
5.6.1.1	Ichnogénre : Entobia Bronn, 1837.....	69
5.6.1.2	Ichnogénre Gastrochaenolites Leymerie, 1842.....	76
5.6.1.3	Ichnogénre : Maeandropolydora Voigt, 1965	83
5.6.1.4	Ichnogénre Caulostrepsis Clarke, 1908	87
5.6.1.5	Ichnogénre : Talpina von Hagenow, 1840	91
5.6.1.6	Ichnogénre : Trypanites Mägdefrau, 1932	94
5.6.1.7	Ichnogénre : Oichnus Bromley, 1981	97
5.6.1.8	Ichnogénre : Nihilichnus Nihilichnus MikulášKadlecová, Fejfar, Dvořák, 2006.....	98
5.6.1.9	Ichnogénre : Spirolites Uchman, Stachacz, Salamon, 2018.....	101
5.6.1.10	Ichnogénre Rogerella de Saint-Seine, 1951.....	103
5.6.2	Epibiontes.....	106
5.6.2.1	Les polychètes	107
5.6.2.2	Ichnogénre : Glomerula serpentina Goldfuss, 1831 (Pl. 14)	107
5.6.2.3	Coquilles d'huîtres juvéniles.....	110
5.6.2.4	Bivalves autres que des huîtres	110
5.7	Conclusion	114
6	CHAPITRE V : DISCUSSION ET INTERPRETATION.....	117
7	CONCLUSION	124
8	REFERENCES	127

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Localisation des monts Bellezma-Batna dans les grands complexes géologiques de l'Est algérien (A), Position paléogéographique de la zone d'étude au cours du Cénomanién (B)

Figure 2 Carte géologique (combinaison de la carte de Merouana à celle d'El Ksar, 1/50 000) montrant les formations du Crétacé et la localisation des sections d'étude.

Figure 3 Carte structurale du Nord-Est d'Algérie montrant les domaines de Bellezma et Aurès (Herkat, 2007).

Figure 4 Les principaux groupes structuraux dans le domaine atlasique oriental (Herkat, 2006).

Figure 5 Colonnes lithostratigraphiques des quatre sections avec la distribution respective de la macrofaune

Figure 6 Unité A : Ammonites et marnes à huîtres *Exogyres*

Figure 7 Unit B: Marnes à *Aspidiscus cristatus*

Figure 8 Unit C : Marnes à *Néolobites vibrayeanus*

Figure 10 Unit D : Calcaire à *Caprinules*

Figure 11 Différents exemples de traces fossiles (substrat meuble ou consolidé).

Figure 12 Catégories éthologiques des traces fossiles (Seilacher, 1953).

Figure 13 Distribution des ichnofaciès marins (Seilacher, 1963, 1967 ; Crimes, 1975 ; Ekdale et al. 1984).

Figure 14 La position typique des principaux ichnofaciès dans les environnements marins et continentaux (d'après Benton & Harper, 1997).

Figure 15 Résumé des attributs des ichnofaciès *Entobia* et *Gnathichnus*. (Jordi M. De Gibert & al 2007)

Figure 16 Schéma décrivant le processus de formation des moulages naturels d'*Entobia*. (Shweta S Gurav Kantimati & Kulkarni Kantimati Kulkarni., 2017)

Figure 17 Croquis de quelques ichnospecies discutées dans la présente étude.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Schéma de la zonation par ammonites dans les **Bellezma – Aures** (Aouissi et al. [2020](#))

Tableau 2 : Découpage litho-biostratigraphique du Cénomaniens de la région d'étude (Aouissi et al. [2020](#))

Tableau 3 : L'ensemble des caractéristiques pétrographiques distinguées dans les 04 coupes.

Tableau 4 : relation entre les types de substrats et les ichnofaciès

Tableau 5 : Liste des ichnotaxons

Tableau 6 : Distribution des communautés de sclérobions sur les macrosinvertébrés du Cénomaniens de Batna

Tableau 7 : Les différentes structures de bioérosion

INTRODUCTION GENERALE

1 INTRODUCTION GENERALE

Le Cénomaniens est une période géologique de l'ère secondaire qui s'est déroulée il y a environ -100,5 et -93,9 millions d'années. C'est la troisième période du Crétacé, qui est la dernière période du Mésozoïque. Cette période est caractérisée par des changements de la géodynamique de la terre principalement alimentée par la tectonique des plaques, des processus volcaniques et sédimentaires. Pendant cette période, la lithosphère s'est divisée en plusieurs plaques qui se sont déplacées les unes par rapport aux autres. L'hydrothermalisme intense, évoqué à cette période, tient son origine de la dislocation de la Pangée, de l'expansion rapide des fonds marins (Sinton & Duncan, 1997 ; Kerr, 1998 ; Jones & Jenkyns, 2001) et d'importantes éruption ignées (LIP : large igneous province ; Larson et Erba, 1999). Ils ont pour conséquences : (1) période chaude avec une température moyenne supérieure à celle des océans actuels de 5 C° (Barron & Washington, 1982 ; Berner et al., 1983 ; Arthur et al., 1985 ; Haq et al., 1987 ; Arthur et al., 1988 ; Weissert, 1989 ; Caldeira & Rampino, 1991 ; Wilson & Norris, 2001 ; Norris et al., 2002) ; (2) période marquée aussi par de fortes teneurs en CO₂ dans l'atmosphère ; (3) dépôt massif de composés réduits dans les océans et un taux d'altération élevé sur les continents ; (4) période de transgression majeure, d'origine eustatique où le niveau marin est considéré comme le plus haut des temps du Phanérozoïque (Lasseur et al., 2016) où il a dépassé 150 m sa hauteur actuel (Vail et al 1977) alimenté par la fonte des glaces continentales; (5) submersion de la plupart des plates-formes peu profondes (Sinton & Duncan, 1997 ; Kerr, 1998 ; Herkat., 1999 ; Jones & Jenkyns, 2001 ; Herkat et Kechid-Benkherouf., 2006) et (6) période ouvrant ainsi une nouvelle communication entre les océans par des étroits bras de mer.

Ces mouvements, qu'a subis la terre au cours du Cénomaniens, ont entraîné des changements importants dans la structure et la composition de la terre, ce qui a contribué à la diversification de la vie marine (Larson, 2020).

Ils ont entraîné une diversification des écosystèmes et une augmentation de la biodiversité. Les fossiles trouvés à cette époque démontrent une grande variété de plantes et d'animaux (Smith, 2021). On note, entre autres, le développement des invertébrés.

Aux alentours de Batna, à l'Est de l'Algérie, le Cénomaniens occupe une grande superficie où les affleurements atteignent parfois les 1000m (Yahiaoui, 1990 ; Slami, 2014 ; Slami, 2019 ; Aouissi et al. 2018). Ils sont représentés par des séries sédimentaires carbonatées déposées dans un milieu de type plateforme carbonatée, caractérisant des facies de milieu peu profond et peu subsidient dans les Bellezma, (Yahiaoui, 1990, Herkat, 1999) évoluant vers un bassin intra cratonique subsidient dans les Aurès (Herkat, 2004). Les travaux réalisés dans la région révèlent un caractère fossilifère homogène pour ces dépôts et ils mettent l'accent sur leur richesse et leur biodiversité en macrosinvertébrés marins (Coquand, 1862, Laffitte, 1939, Salmi-Laouar, 2019 ; Aouissi et al. 2018 ; Aouissi et al. 2020 ; Aouissi, 2020 ; Bensekhria et al. 2019 ; Aouissi et al. 2022). Le développement de la faune marine et sa diversification sont les conséquences des conditions propices qui régnaient pendant cette période. Un potentiel élevé en traces de bioérosion est également signalé sur cette macrofaune. Malgré ce potentiel, les travaux ichnologiques sont rares, en particulier, dans la région de Batna.

Dans la région d'étude, le premier travail fut celui de Salmi-Laouar et al. 2019 intitulé « Abondance d'*Aspidiscus cristatus* (Lamarck, 1801) dans la Formation des 'Marnes de Smail' de la région de Bat na (NE d'Algérie) : Une espèce caractéristique pour le Cénomaniens moyen » aborde, et pour la première fois dans l'Atlas saharien oriental, les traces bioerosives sur ce corail. Ces auteurs mentionnent dans leurs résultats 3 ichnogenres (*Gastrochaenolites*, *Maeandropolydora* et *Glomerula*) et 3 ichnoespèces (*Gastrochaenolites ampullatus* (Kelly & Bromley, 1984), *Maeandropolydora* ichnosp et *Glomerula serpentina* (Goldfuss, 1831).

Un second travail a été réalisé par Kara Ahmed & al. 2022 sur L'étude des dépôts cénomaniens de Djebel Bouarif en Algérie qui a révélé une grande diversité de sclérobiontes préservées dans les coraux, les bivalves et les gastéropodes, notamment les *Gastrochaenolites*, *Entobia* et *Maeandropolydora* ainsi que

d'autres ichnogènes tel que *Rogerella*, *Nihilichnus nihilicus*, *Spirolites* cf. *radwanskii*. Les huîtres juvéniles et les bivalves non huîtres étaient les groupes les plus abondants parmi les sclérozoaires, tandis que les gastéropodes et les polychètes étaient moins communs. Les *Gastrochaenolites* avec des traceurs et des épibiontes n'ont pas été décrits dans les dépôts cénomaniens de Djebel Bouarif au paravent. Les occurrences rares de *Spirolites* et *Nihilichnus* sont rapportées pour la première fois en Algérie.

Plus au Nord ; dans l'Atlas saharien oriental à Tébessa, le travail de Benkhedda et al. (2021) présentent la première étude ichnologique du Langhien inférieur (Miocène moyen) dans la région de l'Ouenza. Un ichnoassemblage composé de huit ichnotaxa [cf. *Archaeonassa* isp, *Arenicolites* isp, *Diplocraterion* isp, *Helminthopsis* isp, *Palaeophycus tubularis*, *Skolithos* cf. *linearis*, cf. *Taenidium* isp, et *Thalassinoides* isp] est alors décrit. Ces traces fossiles appartiennent à l'ichnofaciès Skolithos et Cruziana, indiquant un dépôt dans un milieu marin peu profond (littoral). La grande taille de *Thalassinoides* suggère un milieu bien oxygéné à énergie modérée à élever.

En revanche, en Algérie occidentale, les études ichnologiques sont plus nombreuses. Cherif et al. (2018) dans leur Étude sédimentologique et ichnologique de la formation argileuse de Saïda (Jurassique supérieur) dans les montagnes de Frenda (nord-ouest de l'Algérie) ont abouti à la reconnaissance des ichnotaxons suivants : *Archaeonassa*, *Cruziana problematica*, *Lockeia*, *Palaeophycus*, *Phycodes*, *Protovirgularia*, *Rhizocorallium*, *Spongiomorpha*, *Taenidium* et *Thalassinoides*. Belaid & al. (2020) listent la présence de trois associations de faciès dans l'Oxfordien de Kheneg du nord-ouest de l'Algérie où les fossiles d'eau profonde ou leurs traces sont dominants (i.e. *Belorhappe*, *Chondrites*, *Helminthopsis*, *Nereites*, *Megagraption*). Ils suggèrent qu'une partie de la formation a été déposée dans des environnements de transition vers des environnements offshore plus bas. L'étude de Naimi et al. (2021a) a révélé la description des hardgrounds incrustés par des coquilles d'huîtres appartenant à *Ostrea falco* Coquand dans la série marine transgressive de l'Albien supérieur.

Cet ichnoassemblage est attribué à l'ichnofaciès Trypanites. Cherif & al. (2021) dans leurs étude intitulée "Traces fossiles du Berriasien-Valanginien de la chaîne de l'Ouarsenis (nord-ouest de l'Algérie) et leurs implications paléoenvironnementales" évoquent la présence de neuf ichnotaxes (*Chondrites intricatus*, *Palaeophycus* isp, *Planolites* isp, *Rhizocorallium commune*, *Thalassinoides* isp, *Thalassinoides suevicus*, *Tisooa siphonalis*, *Zoophycos* isp et *Zoophycos brianteus*) rapportés pour la première fois dans le Crétacé inférieur du nord-ouest de l'Algérie. Ces traces sont caractéristiques de l'ichnofaciès Zoophycos. Plus tard, Naimi et al. (2021b) ont signalé une communauté endolithique dans les coquilles d'*Ostrea lamellosa* du Messinien du bassin de Tafna. Dans ce travail, ils ont rapporté pour la première fois dans le Nord-Ouest algérien des traces de bioérosion fossile (forings), où trois ichnotaxons ont été observés et décrits (*Entobia* cf. *geometrica*, *Gastrochaenolites* cf. *torpedo* et *Trypanites* isp.). Tous ces fossiles ont été attribués à l'ichnofaciès Trypanites. Vinn & al. (2021) ont mentionné la présence de traces fossiles de bioérosion dans les récifs messiniens du nord-ouest de l'Algérie. Ils mentionnent que les coraux associés dans les récifs du Messinien d'Algérie comprennent à la fois des épibiontes et des endobiontes. Les épibiontes étaient représentés par des vers serpulidés et des gastéropodes vermiformes. Les endobiontes comprenaient des serpulidés, des bivalves et des éponges perforants (*Entobia*). Par la suite, Naimi et al. (2021c) ont identifié des hardgrounds avec des perforations abondants dans les lits de rhodolithes messiniens du bassin du Chélif inférieur.

Des ichnoassemblages marins peu profonds à marginaux contenant à la fois des communautés de substrats mous et durs ont également été signalés dans la formation de Slama du Pliocène supérieur dans le bassin du Chélif inférieur par Benyoucef et al. (2021). Récemment, Bendella et al. (2021) montrent que la Formation de Slama (Pliocène supérieur, Bassin du Chélif inférieur, Algérie) est caractérisée par une diversité d'ichnofossiles faible à modérée. Elle livre 16 ichnotaxons : *Arenicolites* isp, *Conichnusconicus*, *Gyrolithespolonicus*, *G. variabilis*,

Gyrolithes isp, *Macanopsis* isp, *Macaronichnus segregatis*, *Ophiomorpha* cf. *annulata*, *O. irregulaire*, *O. nodosa*, *Palaeophycus* isp, *Skolithos linearis*, *Skolithos* isp, *Thalassinoides horizontalis*, *T. paradoxicus*, et *T. suevicus*. Les Traces fossiles sont regroupées en plusieurs ichnoassemblages.

Ailleurs dans le monde, par contre, plusieurs travaux ont été réalisés : en Afrique (El Kadiri et al. 2003 ; El-Hedeny, 2007 ; Elicki et al. 2013 ; Michaut, 2018 ; Rashwan et al. 2019 ; Vinna et al. 2018 ; Cherif & al. 2021), en Europe (Ana Santos & al. 2003 ; Avanzini et Petti, 2008 ; Avanzini & al. 2011 ; Basan 1978 ; Buatois et Mángano, 2011 ; Baucon & al. 2014 ; Bel Haouza et al. 2019 ; Breton, 2011 ; Breton et al. 2017 ; Bromlry, 1978 ; Bromlry, 1979 ; Bromley & D'Alessandro, 1984 ; Bromley 1990 ; Bromley 1996 ; Bromley et al. 2007 ; Bongrain., 1995 ; Crimes et Harper 1970 ; Claudia Färber & al., 2016 ; De Gibert et al. 2007 ; Ekdale et al. 1984 ; Frey 1975 ; Fiah & al. 2014 ; Gingras & al. 2005 ; Harazim & al. 2015 ; Hasiotis 2010 ; Huriye Demircan, 2012 ; Jensen, 1997 ; Knaust et Bromley 2012 ; Maceachern et al. 2007 ; Maples et West, 1992 ; Pemberton, 1992 ; Rodriguez-Tovar & Alfred Uchman, 2004 ; Seilacher, 2007 ; Stachacz, 2012 ; Sartoretto, 1998 ; Tribollet et Payri, 2001 ; Uchman & Wetzel, 2012 ; Venturini & al. 2015 ; Wisshak et al. 2017), En Asie (Li-Jun Zhang & al. 2017 ; Rajkonwar & al. 2014 ; El-Hedeny et al. 2017 ; Madhavi & al. 2020 ; Parcha & Pandey, 2011 ; Zubia & Peyrot-Clausade, 2001 ; Patel & al. 2014 ; Hofmann & al. 2011), en Amérique (Blissett & Pickerill, 2007 ; Birchard, 1987 ; Buatois & al. 1999 ; Gabriela M´angano & al. 2005 ; Lopes, 2011 ; Noelia & al. 2012 ; Seuss and al., 2019 ; Melchor & al. 2012 ; Krapovickas & al. 2010 ; Netto & al. 2012 ; Pickerill & al. 1999 ; Netto & al. 2014 ; Carmona & al. 2008 ; Genise & al. 2010 ; Fernandes & Carvalho, 2006 ; Bedatou & al. 2006). L'ensemble de ces travaux utilisent les traces fossiles (ichnofossiles) pour : (1) l'identification et la classification des ichnofossiles, (2) la reconnaissance et l'interprétation des ichnofaciès, (3) l'utilisation des traces fossiles pour compléter la reconstitution des milieux d'un point de vue

paléoécologique des paléoenvironnements. Ils se basent sur l'association des activités animales préservées sous forme de structures sédimentaires biogènes avec des paramètres physico-chimiques, tels que l'énergie hydraulique, la disponibilité des ressources alimentaires, la salinité, l'oxygénation, la température et la turbidité de l'eau.

Dans ce contexte ; celui de la recherche des traces fossiles et de bioérosion résultant de diverses activités animales sur les surfaces durs, que ce travail est proposé et qui a pour but :

- La description de la composition de l'association de sclérobiontes dans/sur les substrats organiques durs ; celles des moules, coquilles et valves des macro-invertébrés du Cénomaniens des Monts Batna (Algérie). Nous suivons la terminologie de Taylor et Wilson, (2002) du " sclérobiontes " comme un terme générique pour les organismes formant une croûte et les organismes foreurs sur tout type de substrat dur ;
- Leur distribution ;
- L'établissement de leur classification systématique ;
- L'enregistrement d'une liste originale pour les premiers ichnotaxons dans le Cénomaniens aux alentours de Batna ;
- La description de l'ichnofaciès dominant ;
- Et enfin la reconstitution paléoenvironnementale de la région pendant l'intervalle stratigraphique concernée.

CHAPITRE I
GENERALITES

2 CHAPITRE I : GENERALITES

2.1 PRESENTATION ET OBJECTIFS DE TRAVAIL

La région de Batna est localisée au Nord Est de l'Algérie, dans l'Atlas saharien oriental (Fig.1.A). Elle appartient à la marge méridionale de la Téthys (Fig.1.B).

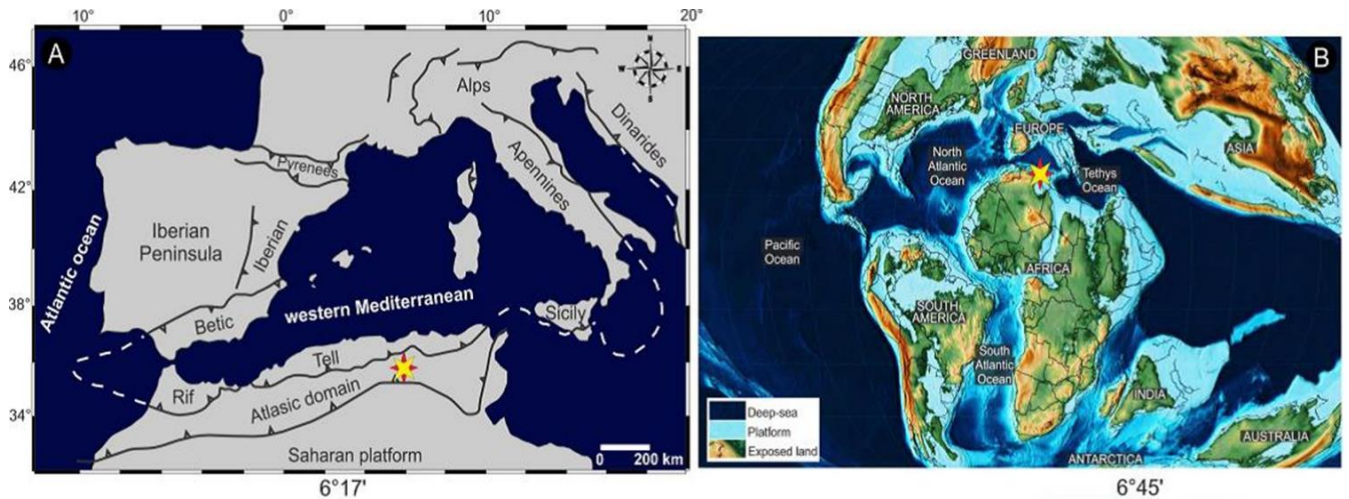


Fig. 1. Localisation des monts Bellezma-Batna dans les grands complexes géologiques de l'Est algérien (A), Position paléogéographique de la zone d'étude au cours du Cénomanien (B)

Dans cette région, le Crétacé moyen occupe la partie la plus affleurante, où le Cénomanien présente des accumulations importantes (Herkat, 1999, 2004, 2007 ; Herkat et Guiraud, 2006 ; Slami, 2014, Slami, 2019, Aouissi et al. 2018). Aux alentours de Batna, le Cénomanien affleure largement aux Djebels Metrassi, Hamla, Theniet El Menchar, Djebel Fakra, Theniet El Baida où il atteint son maximum avec une épaisseur de 600 m (Yahiaoui, 1990). Pour ce présent travail, quatre coupes sont alors sélectionnées : Metrassi, Hamla, Theniet El Menchar et Bouarif (Fig. 2)

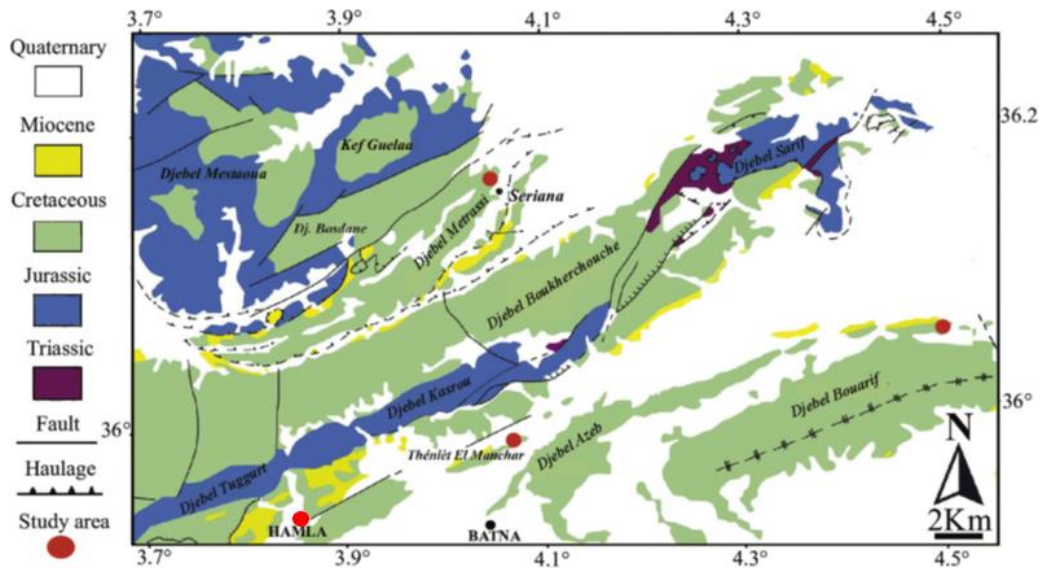


Fig. 2. Carte géologique (combinaison de la carte de Merouana à celle d'El Ksar, 1/50 000) montrant les formations du Crétacé et la localisation des sections d'étude.

Le Cénomaniens dans cette région est particulièrement riche en macrosinvertébrés où la faune y est très diversifiée et représentée par des bivalves, gastéropodes, céphalopodes, coraux et échinides, en bonne état de préservation (Aouissi et al. 2018 ; Aouissi et al. 2020 ; Bensekhria et al. 2019 ; Slami et al. 2018 ; Salmi-Laouar et al. 2019). Malgré ces nombreuses recherches paléontologiques entreprises dans cette région, et malgré que cette faune renferme un potentiel très élevé en traces de bioérosion, les études sur les ichnofossiles restent rares voire inexistantes (Salmi-Laouar et al. 2019).

L'ichnologie présente une grande importance d'un point de vue ichnotaxonomique, taphonomique et interprétations environnementales. Cette discipline a pour intérêt la reconnaissance des origines des traces et l'interprétation de leurs histoires et comportement au cours des temps géologiques. Elle permet la définition des ichnofaciès à partir des assemblages les plus caractéristiques d'ichnofossiles, et enfin la reconstitution des paléoenvironnements et des biotopes.

Ce présent travail est une nouvelle contribution qui a pour objectif : d'enregistrer, décrire, classer et de nommer systématiquement les ichnotaxons récoltés dans plusieurs gisements fossilifères dans le Cénomaniens aux alentours de Batna.

2.2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

Afin de mener à bien les objectifs visés, plusieurs campagnes de terrain ont été réalisées, entre 2019- 2022, et quatre sections, aux alentours de Batna, sont alors sélectionnées et étudiées (Bouarif, Metrassi, Hamla et Théniet el Menchar). L'accessibilité de l'intégralité des affleurements du Cénomaniens et la richesse faunique sont les critères principaux pour le choix de ces coupes. Le matériel est représenté par des valves et des moules des différents macrosinvertébrés (bivalves, échinides, ammonites, gastéropodes et coraux). Cette récolte a été complétée par des spécimens appartenant à la collection du Dr. Aouissi. La détermination de la macrofaune est basée sur les résultats de (Aouissi et al. 2018 ; Aouissi et al. 2020 ; Aouissi et al. 2022) et ceux de (Salmi-Laouar et al. 2019) publiés sur les macrosinvertébrés du Cénomaniens de la région de Batna.

Les échantillons sont numérotés et codés selon leur site d'origine (**Bar** pour Bouarif, **Mtr** pour Metrassi, **Hml** pour Hamla et **Tem** pour Theniet El Menchar). Ils sont stockés au département de Géologie à l'université Badji Mokhtar.

Les résultats exposés proviennent d'abord d'un échantillonnage systématique et des observations de terrain. Ils seront complétés ultérieurement, au laboratoire, par des descriptions des différentes traces de bioérosion et d'incrustation disponibles. Pour le faire les échantillons sont lavées avec du peroxyde d'hydrogène et séchées à maintes reprises, pour bien les nettoyer et enlever toutes les petites particules et les impuretés remplissant les trous. Chaque spécimen de macrofossiles est soigneusement examiné, mesuré par un pied à coulisse digital afin de faciliter l'identification des différents Ichnotaxons, et photographié grâce à un appareil

numérique de haute résolution, et illustrés en forme de planches grâce à un logiciel d'image approprié. Un total de 150 échantillons (75 de Djebel Bouarif, 45 de Hamla, 30 de Metrassi et 15 de Theniet El Menchar) a été sélectionné et nettoyées dans une solution de peroxyde d'hydrogène à 7% dans un bain à ultrasons pour se débarrasser de tous les sédiments qui remplissaient les perforations. Le travail de traitement a été effectué au Laboratoire d'Hydrochimie, Département de Géologie, Université Badji Mokhtar, Annaba.

Les ichotaxons sont ensuite été photographiés à l'aide d'un appareil photo CANON EOS 2000D, d'un TAMRON 18-200 et d'un objectif Canon EF 100 mm f/2.8L Macro IS USM. Certaines échantillons sélectionnées (ceux de Bouarif) ont bénéficié de la microscopie électronique à balayage (MEB), 15 spécimens ont été coulés dans de la résine époxy en suivant la technique de Wisshak (2012) pour évaluer l'activité de bioérosion. Seuls des spécimens faiblement ou non-limonitisés ont été utilisés car le moulage époxy nécessite des substrats solubles dans l'acide. Les échantillons ont été placés dans une petite chambre à vide (Struers CitoVac) et infiltrés avec un mélange de résine époxy à faible viscosité (EpoFix) et de durcisseur (EpoFix) avec un rapport de 15/2 ml pour produire des moulages en résine polymère. Après durcissement, les échantillons ont été découpés à l'aide d'une scie à roche, détartrés par un traitement au HCl 31%, rincés à l'eau distillée et séchés. Cette procédure a été réalisée au laboratoire de l'Institut de géologie et de paléontologie de l'Université Charles à Prague.

2.3 CADRE GEOGRAPHIQUE DES COUPES

Les coupes levées et étudiées dans ce présent travail encadrent les alentours de Batna (Fig. 2) et où le Cénomaniens est accessible et affleure dans son intégralité. Elles appartiennent à deux domaines différents ; celui des Monts de Bellezma, au Nord, représentée par Djebel Metrassi, Théniet el Manchar et Djebel Hamla et les Aurès, au Sud, représenté par Djebel Bouarif

- **La coupe de Metrassi** se trouve à 30 km au Nord de Batna, et à environ 1 km au Sud-Ouest de la commune de Seriana, La coupe est réalisée sur une distance de 270 m sur la terminaison péri-synclinale de ce massif. Elle a pour coordonnées $36^{\circ}11'51''\text{N}$ et $36^{\circ}20'13''\text{N}$, $14^{\circ}02'31''\text{E}$ et $14^{\circ}21'09''\text{E}$). Il s'agit d'un monoclinal d'une hauteur de 1100 m, une direction NO-SE et dont le flanc Sud du massif montre un redressement prononcé que celui du Nord. La végétation généralement clairsemée caractérise les reliefs qui sont souvent abrupts et très irréguliers, ce qui permet leur affleurement à l'exception de certains endroits.

- **La coupe de Théniet el Manchar** est située à proximité de la route N° 03, à environ 2 km au Nord Est de la ville de Batna. Cette coupe montre des affleurements bien développés permettant un enregistrement sédimentaire le plus continu possible et offre une faune marine très bien conservée parmi lesquels, on distingue : les ammonites, les rudistes, les coraux, les oursins, les huîtres et les gastéropodes. Elle s'agence en une formation qui s'étire sur environ 180 m d'épaisseur. Elle comprend la partie inférieure, moyenne, et supérieure du Cénomaniens.

- **La Coupe de Hamla** est située sur la route N° 77 à l'Ouest de Batna à environ une dizaine de kilomètres. Cette coupe est levée au niveau du Djebel Sabaoune sur une distance de 320 m. Les affleurements de cette coupe montrent une épaisseur supérieure par rapport à la coupe de Metrassi, cela peut être expliqué par l'existence d'une tectonique synsédimentaire active (Herkat, 1999). Elle a pour coordonnées $35^{\circ}032'$ au $35^{\circ}033'$ de latitude Nord et du $60^{\circ}03'$ au $60^{\circ}04'$ de longitude Est. Le massif est délimité par : Dj Tuggurt au Nord, et par le massif de Chaabet Ouled Chlih au Sud. Une végétation clairsemée comparable à celle de Metrassi.

- **La coupe de Djebel Bouarif** est située à environ 20 km au nord-est de la ville de Batna. Elle a pour coordonnées : $35^{\circ}37'37.5''\text{N}$, $6^{\circ}20'58.0''\text{E}$. La sédimentation est principalement carbonatée d'âge Crétacé inférieur et supérieur, dont l'Aptien est le plus ancien, et les strates du Cénomaniens et du Turonien sont les plus épaisses et les mieux conservées (Yahiaoui, 1990).

2.4 HISTORIQUE DES TRAVAUX SUR LE CENOMANIEN DANS LA REGION DE BATNA

Dans ce qui suit nous donnons une liste non exhaustive des travaux réalisés sur le Cénomaniens aux alentours de Batna :

Fournel, (1849) fut le premier à avoir donné quelques descriptions assez précises sur la géologie de la région étudiée. Il attribua pour la première fois dans l'Aurès un âge Crétacé inférieur dans sa description de la province de Constantine où il mentionne des Fossiles qu'il attribuait au Crétacé inférieur.

Coquand, (1862) utilisa dans le massif des Aurès la notion d'étage permettant ainsi de reconnaître le Cénomaniens, le Turonien et le Sénonien.

Peron a publié les échinides du Turonien (1879), puis ceux du Sénonien en (1881).

Laffitte, (1939) dans sa thèse, considérée comme la première synthèse moderne sur les Aurès, décrit les séries sédimentaires mésozoïques et cénozoïques de plusieurs coupes réalisées dans les Aurès et les régions environnantes, entre autres les séries du Crétacé des monts de Bellezma-Batna.

Guiraud, (1973) décrit plusieurs coupes lithostratigraphiques dans le Hodna et dans les régions voisines ; le Cénomaniens, y est largement décrit. Dans son travail, l'auteur synthétise la géodynamique de cette partie de l'Atlas saharien oriental.

Vila, (1980) étudie la chaîne alpine post-triasique d'Algérie orientale et des confins algéro-tunisiens. Dans son travail, il apporte des précisions à la stratigraphie et à la tectonique de ces régions. Il y propose également des cartes géologiques et paléogéographiques.

Bureau, (1967-1986) décrit les séries méso-cénozoïques et donne l'évolution des monts de Bellezma-Batna selon la conception des blocs basculés et propose un modèle original pour la sédimentation à ce domaine.

Kazi-Tani, (1986) présente un découpage séquentiel et des interprétations sédimentologiques des séries de l'Atlas saharien oriental. L'auteur propose, aussi, la mise en place de bassins rhombiques, le long de la transversale Bejaïa-Négrine, pour la période du Crétacé supérieur et plus particulièrement au Turonien.

Yahiaoui, (1990) s'est intéressé aux séries sédimentaires du Cénomaniens supérieur- Coniacien inférieur des monts de Bellezma-Batna. Il propose dans sa thèse un découpage en six formations pour cette partie du domaine atlasique.

Chikhi-Aouimeur, (1998) dans sa thèse consacrée aux rudistes de l'Algérie, donne la révision systématique de douze genres et vingt-sept espèces. L'auteur, dans ce travail, actualise certains taxons, indique la présence de certaines espèces inconnues en Algérie et propose une nouvelle espèce. Dans ce travail, les rudistes du Cénomaniens des monts de Bellezma sont cités.

Herkat, (1999) a effectué des coupes dans la région nous intéressant, dans son important travail consacré aux séries sédimentaires du Crétacé supérieur de l'Atlas saharien oriental. L'auteur, précise le cadre stratigraphique et géodynamique, et propose un modèle en bloc basculé pour ses interprétations ; un nouveau découpage basé sur la stratigraphie séquentielle apparaît, également, dans cette thèse.

Boumaza, (2000) et Redjimi-Bourouiba, (2002) ont fait des études paléontologiques respectivement sur les Ostréidés et les Ammonites du Crétacé supérieur de l'Algérie. Des résultats concernant la systématique, la paléoécologie et la paléobiogéographie sont donnés.

Maandi, (2011) en se basant sur l'étude de la faune et de la microfaune, a étudié la série sédimentaire du Vracono-Cénomaniens et du Turonien des coupes levées dans les Aurès, et a apporté des précisions biostratigraphiques et paléoenvironnementales.

Djefal, (2014) dans son travail axé notamment sur l'aspect tectonique des coupes levées dans les monts de Bellezma Batna, apporte des résultats notamment sur le plan structural.

Slami, (2014) entreprend un travail sur les la limite Céno-mano-turonienne dans la région de Batna, à partir de l'étude de la faune et de la microfaune.

Youcef-Brahim, (2018) entreprend un travail sur les séries sédimentaires méso-cénozoïques de la région de Merouana. Les résultats émanant de ce travail mettent en évidence des modèles de sédimentation ; l'auteur propose également une esquisse sur le plan structural.

Slami et al. (2018) ont fait des études biostratigraphiques respectivement par l'outil de la microfaune et la faune du Céno-manien-turonien de la région de Batna. Slami et al. Ont montré que l'analyse qualitative et quantitative des foraminifères (planctoniques et/ou benthiques), des ostracodes et des marqueurs géochimiques de la coupe de Théniet El Manchar (Batna, NE Algérie) permet de reconstituer l'évolution du paléoenvironnement et les variations paléobathymétriques au cours du Céno-manien-Turonien. Les unités IA IB IC et la partie inférieure de l'unité I D (d'âge Céno-manien) indiquent un milieu de plateforme avec un faible hydrodynamisme suite à l'abondance des foraminifères benthiques agglutinés et les ostracodes. Les derniers termes de l'unité I D et l'unité II A témoignent d'une évolution vers des conditions plus profondes. Le seul qui traite l'EAO-2 c'est celui de Slami (2018) dans les deux coupes de Théniet El Manchar (TM) et Firmet Riche (FR) par la caractérisation de succession standard des événements déjà reconnus en Afrique du nord (l'abondance de foraminifères planctoniques, la présence de 'filaments' et une réduction drastique de la faune d'ostracodes). Les données isotopiques du $\delta^{13}\text{C}$ et celles du $\delta^{18}\text{O}$ de la coupe de Théniet El Manchar montrent qu'il s'agit une productivité primaire faible et une augmentation des paléo-températures, cause principale du déclenchement de l'EAO-2. Les interprétations paléoenvironnementales obtenues s'accordent avec les données connues du contexte paléogéographique régional et mettent en exergue les spécificités téthysiennes.

Aouissi et al. (2018) ont établi une liste systématique originale, avec des espèces inédites, dans un assemblage paléontologique constitué de 327 spécimens récoltés dans le Céno-manien du

Djebel Metrassi (Batna, NE Algérie). Cet assemblage comportant un corail, 24 espèces de bivalves, 14 espèces de gastéropodes, 3 espèces d'ammonites, et 7 espèces d'échinides proposent un découpage biostratigraphique précis pour le Cénomaniens et soutient le découpage lithostratigraphique proposé pour cette région.

Slami, (2019) Effectue une étude pluridisciplinaire basée sur un couplage des données sédimentaires, biostratigraphiques et géochimiques et ce, pour une meilleure compréhension sur l'évolution du paléoenvironnement marin au passage Cénomaniens-Turonien de la région de Batna. Elle établit une corrélation avec d'autres contrées voisines ou lointaines.

Aouissi, (2020) dans sa thèse il présente un travail qui porte sur la description du Cénomaniens des Mont de Bellezma-Batna. En utilisant conjointement la description lithologique, la systématique, la biostratigraphie et la reconstitution des conditions paléocéologique afin de suivre l'extension paléogéographique orientale, il a corrélé les données de la région de Batna avec les résultats publiés de la marge sud-téthysienne

Aouissi et al. (2020) rapportent la première une biozotation détaillée par ammonites suite à une étude systématique et biostratigraphique approfondie de la faune des céphalopodes cénomaniens des Monts de Bellezma et des Aures.

2.5 TRAVAUX SUR L'ICHOLOGIE EN ALGERIE

Salmi-Laouar et al. (2019) contribuèrent à une étude consacrée exclusivement à l'*Aspidiscus cristatus*, récoltés dans plusieurs sites de la région de Batna, où ce taxon marqueur du Cénomaniens moyen fut classé en détail dans un ordre systématique, paléocéologique et spatiotemporelle. Soulignaient une forte abondance dans la Zone à *Acanthoceras* cf. *rotomagensis*. Qui a permis de définir pour la région étudiée, une zone d'abondance à *Aspidiscus cristatus*, marqueur du sous-étage Cénomaniens moyen. L'analyse biométrique de plusieurs spécimens de ces scléactinifères fossiles a permis de mettre en évidence au sein de la

population étudiée des variations morphologiques en rapport avec les conditions environnementales. L'étude paléontologique et les comparaisons avec les spécimens d'autres régions du pourtour méditerranéen a permis d'éclaircir les conditions paléoenvironnementales des milieux de vie de ces organismes, qui semblent tolérer des milieux marins peu profonds, aux eaux relativement chaudes et a substrat vaseux. Signalant aussi pour la 1^{ère} fois la présence de nombreuses traces de bioérosion sur les spécimens étudiés.

Belaid et al. (2020) Dans son étude intitulée « First record of trace fossils from the Oxfordian Argiles rouges de Kheneg Formation (Tiaret, northwestern Algeria) » l'auteur a signalé la présence de trois associations de faciès principales FA-3 à FA correspondant respectivement à la partie profonde d'un plateau mixte siliciclastique-carbonaté, à la surface côtière supérieure et à la transition offshore-lower offshore. L'association de fossiles de la formation d'argile rouge de Kheneg contient quinze ichnogènes et est modérément diversifiée pour le Jurassique supérieur en eau profonde (c'est-à-dire *Belorhaphe*, *Chondrites*, *Helminthopsis*, *Nereites*, *Megagraption*). Ils indiquent qu'une partie de la formation a été déposée dans des environnements de transition entre l'offshore et l'offshore inférieur.

Naimi et al. (2021a) par leur étude intitulé "*Trypanites* and associated bivalve borings in an Upper Albian hardground of the Eastern Saharan Atlas (Algeria)" ont révélé des hardgrounds dans la série marine transgressive de l'Albien supérieur qui sont incrustés par des coquilles d'huîtres appartenant à *Ostrea falco* Coquand interprétés comme une surface d'érosion transgressive. Cet ichnoassemblage est attribué à l'ichnofaciès *Trypanites*.

Naimi et al. (2021b) : dans son travail « Bioerosion in *Ostrea lamellosa* shells from the Messinian of the Tafna basin (NW Algeria) ». Ils Parlent du phénomène de bioérosion observé dans les gisements messiniens de Souk el Khemis qui résulte de l'ennui activité des éponges clionides (*Entobia*), sipunculide et les annélides polychètes (*Trypanites*) et bivalves (*Gastrochaenolites*). Il indique que ces trois ichnogènes sont les composants les plus courants

des *Trypanites* associés à d'autres ichnotaxons bioérosifs tels que *Caulostrepis*, *Maeandropolydora*, *Cochotrema* et *Ubiglobite*. Ils suggèrent que ces ichnofacies caractérisent les substrats lithifiés (terrains durs) et, plus rarement, osseux lits et coquilles.

Naimi et al. (2021c) ont identifié des hardgrounds avec des perforations abondants dans les lits de rhodolithes messiniens du bassin du Chélif inférieur. Une étude intitulée "Macrobioerosion of polychaetes in Messinian rhodolith beds (Upper Miocene) of the Western Mediterranean".

Benyoucef et al. (2021) signalent dans l'étude "Bivalve shell concentrations in the Upper Pliocene of the Basin of the Lower Chelif (NW Algeria) : systematics, sedimentological and taphonomic framework" des ichnoassemblages marins peu profonds à marginaux contenant à la fois des communautés de substrats mous et durs.

Bendella et al. (2021) dans leur étude sur "Shallow to marginal marine ichnofossils of the Upper Pliocene 'Slama Formation' (Lower Chelif Basin, NW Algeria)" montrent que la Formation de Slama (Pliocène supérieur, Bassin du Chelif inférieur, Algérie) est caractérisée par une diversité d'ichnofossiles faible à modérée, consistant en 16 ichnotaxons et quatre ichnoassemblages.

Benkhedda et al. (2021) dans leur travail intitulé "Shallow Marine Trace-Fossils From The Middle Miocene Of The Tebessa Basin (Ne Algeria) And Their Paleoenvironmental Implications", ils présentent la première étude ichnologique de la région de l'Ouenza, Tebessa (nord-est de l'Algérie). Un ichnoassemblage composé de huit ichnotaxa, à savoir *Archaeonassa* isp, *Arenicolites* isp, *Diplocraterion* isp, *Helminthopsis* isp, *Palaeophycus tubularis*, *Skolithos* cf. *linearis*, *Taenidium* isp, et *Thalassinoides* isp, rapporté du Langhien inférieur (Miocène moyen) est déterminé Ces traces fossiles appartiennent à l'ichnofaciès proximal *Skolithos* et *Cruziana*, indiquant un dépôt dans un environnement marin peu profond (littoral).

2.6 CONCLUSION

Nous constatons que rares sont les travaux qui se sont intéressés sur la bioérosion et d'incrustations dans la région de Batna. Dans le cadre de ce présent projet, seul le travail de Kara Ahmed et al. 2022 en est la première référence. Ils ont étudié le registre de bioérosion fossile dans la région orientale de l'Algérie, plus précisément sur les substrats organiques durs des strates du Cénomaniens de Batna. Dans cette perspective, ils ont visé la description des différents ichnogenres et ont répertorié et classé systématiquement les traces fossiles et de bioérosion résultant de diverses activités animales sur la macrofaune cénomaniens collectée à Djebel Bouarif au Sud de Batna. Ainsi, ce document évoquera, pour la première fois dans le nord-est de l'Algérie, l'enregistrement d'une liste originale de nouveaux ichnotaxons du Crétacé.

CHAPITRE II
CADRE GEOLOGIQUE

3 CHAPITRE II : CADRE GEOLOGIQUE

3.1 GEOLOGIE REGIONAL

3.1.1 Introduction

La région de Batna est localisée dans l'Atlas saharien oriental (Fig.3). Elle couvre deux unités structurales différentes par leurs histoires géologiques ; une partie septentrionale au Nord, pré atlasique, caractérisée par une organisation des structures plissées bien apparentes qui appartient aux Monts de Bellezma et une seconde partie méridionale au Sud, atlasique, où les structures plissées du Nord aurésien sont régulières couvrant le massif des Aurès (Bellion, 1972 ; Guiraud, 1973).

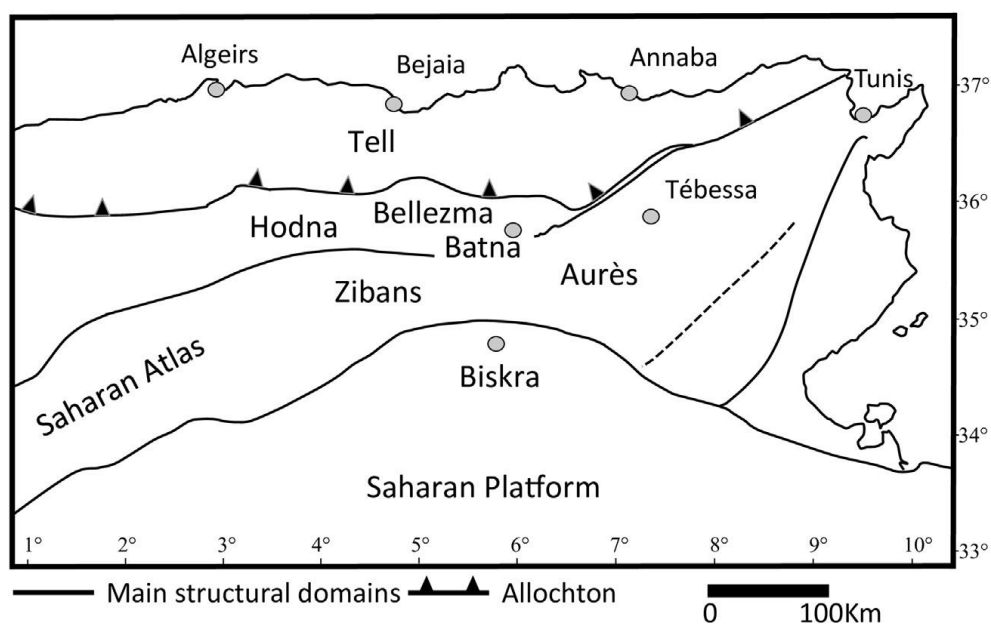


Fig. 3. Carte structurale du Nord-Est d'Algérie montrant les domaines de Bellezma et Aurès (Herkat, 2007).

La zone d'étude est couverte par la feuille de Merouana et Ain El Ksar aux 1/50,000 (cf Fig 2). L'inventaire stratigraphique des nombreux travaux réalisés, sur les Monts des Bellezma

et ceux de Aurès, montrent que les terrains les plus anciens qui affleurent dans le secteur étudié sont attribués au Trias et les plus récents au Quaternaire (Laffitte, 1939). Ils sont essentiellement formés de terrains mésozoïques où le Crétacé occupe une grande superficie. A l'affleurement, le Crétacé inférieur est représenté par des facies détritiques remplacés par d'autres carbonatés au Crétacé supérieur (Laffitte, 1939 ; Bassoulet, 1973 ; Herkat, 1999, 2005 ; Grosheny et al. 2007, 2008 ; Jati, 2007). L'aspect structurale de la région étudiée est caractérisé par de vastes anticlinaux de direction (NE-SW) affecté par plusieurs systèmes de failles qui s'organisent autour de trois directions ; failles directionnelles NE-SW, failles transversales NW-SE, et failles E - W (Laffitte, 1939 ; Bellion, 1972 ; Guiraud, 1973).

3.1.2 Litho-stratigraphie des monts des Aurès et ceux de Bellezma

Le *Trias* constitue les terrains les plus anciens dans la région d'étude, où ses affleurements sont toujours en position stratigraphique anormale, soit sous forme de diapirs ou bien injectés le long des accidents tectoniques, au sein des formations encaissantes.

Il s'agit des séries dépourvues de fossiles, constituées de marnes bariolées à quartz bipyramidés, de lentilles de gypse fibreux, d'anhydrite et d'argiles violacées accompagnés souvent par des masses dolomitiques. Au Nord de la ville de Batna, le Trias affleure essentiellement dans Djebel Tuggurt et Djebel Sarif. Dans les Monts de Bellezma, le Trias est composé principalement par des argilites lie-de-vin et par des lentilles gypseuses (Bureau, 1975c).

Les terrains du *Jurassique* affleurent dans la partie orientale des Monts de Bellezma-Batna, Les séries les plus complètes du Jurassique ont été décrites aux Djebels El Azreg, Tuggurt, Bou Merzoug, Kasserou, Bouilef, Ravin Bleu, (Marmi, 1995). Les massifs dolomitiques constituent l'essentiel de l'affleurement du Jurassique de l'Est algérien (Bureau, 1986).

Le **Lias** est composé :

- Des dolomies massives noires et de calcaires micritiques en bancs métriques représentant le Lias inférieur.
- Un Lias moyen représenté par des dolomies massives claires et des calcaires à algues datés par *Involutina liasica* associée à des ostracodes (Vila, 1980).
- Un Lias supérieur caractérisé par le niveau repère ammonitico-rosso inférieur, il s'agit des calcaires noduleux et des marnocalcaires rouges, est daté par *Lilliabayard*, *L.comensis*, *Phylloceras heterophyllum* du Toarcien, déjà cités par Fischeur (1896) et par Savornin (1920).

Le **Dogger** à 'Filaments représenté par des calcaires à silex ne semble pas contenir de la microfaune significative en dehors de quelques *Lagénides*, *Spirillinidés*, et de radiolaires ubiquistes (Vila, 1980).

Au Sud de Batna, on distingue des calcaires compacts réglés à *Coeloceras humphries* attribués au Bajoacien, des calcaires lités verdâtres à nodules siliceux attribués au Bathonien et des calcaires lités rougeâtres à nodules siliceux, attribués au Callovien-Oxfordien (Fischeur, 1896).

L'Oxfordien est formé par des calcaires, des marnes et de l'ammonitico rosso supérieur daté d'Argovien par : *Peltoceras bimammatum*, *Sowerbyceras tortisulcatum*, *S. loryl*, *Harpoceras semifalcatum*, *Perisphinctes martelli*, *P. cf.orbigny*, *Simoceras doublieri*, *Phylloceras polyplocum*, *Belemnites cf.hastatus*, *Alligaticeras birmensdofense*, *liasphinctes cf.linki* et des *Aptychus*. (Savornin, 1920).

Un niveau à *Perisphinctes cf. orbigny* indique l'Oxfordien supérieur dans des couches à Protoglobogérines abondants et à ostracodes peu caractéristiques. (Vila, 1980).

Le **Kimmeridgien** représenté par des marnes à intercalations calcaires, est daté par : *Saccocoma globochaete*, radiolaires, ostracodes, *Lenticulina subanuolata* et des ammonites

Ataxioceras cf. guentheri, *A. striolare*, *Aptuchus latus* (Kimméridgien inférieur à moyen) et se poursuit par des niveaux à *Haplocer assublineatum* du Kimméridgien supérieur (Vila, 1980).

Le Tithonique constitué par des alternances marnes calcaires à la base et des calcaires massifs au sommet, daté par : *Perisphinctes cf. siliceus*, *Phylloceras serum*, *Pygope dyphya*, *Apthycus punctatus*, *Perisphinctes cf. transitorius*, *Lytoce ra municipale* (Tithonique inférieur). Le Tithonique supérieur est daté par : *Calpionella alpina*, *Crasscollaria parvula*, *C. massutiniana*, *C. intermedia*, *C. brevis* et rares *Tintinopsella carpathica*. (Vila, 1980).

Selon Laffitte (1939), pendant le Jurassique, dans l'Atlas Saharien s'installe une aire pélagique avec un fond subsidient où s'accumule une grande épaisseur de matériel détritique provenant du continent saharien. Le degré d'affaissement est compensé par les apports détritiques, permettant ainsi, la formation des dépôts néritiques.

Le **Crétacé** constitue les terrains les plus développés, il affleure largement dans les Monts de Bellezma, en constituant une série concordante où tous les étages sont représentés. Une opposition très nette entre deux séries successives, l'une basale représente le Crétacé inférieur où les grès dominant montent jusqu'à l'Albien et d'une puissance de 2000 m, l'autre sommitale débute avec le Cénomaniens et représente le Crétacé supérieur et dont les grès sont inconnus, d'une puissance de 3000 m (Laffite, 1939).

Le **Crétacé inférieur** occupe de vastes superficies dans les Monts de Bellezma Batna surtout dans la partie orientale de cette série, où les faciès sont à dominante gréseuse. Ils comportent aussi des faciès carbonatés. Au sein de ces séries relativement monotones en apparence on peut distinguer assez souvent plusieurs formations. Ce sont, de la base de la série vers le sommet (Guiraud 1973) :

- La formation marno-silto-gréseuse : qui correspond pour l'essentiel au Valanginien, mais également souvent à sa base au Berriasien supérieur ; cette formation peu résistante à l'érosion

constitue toujours une dépression plus ou moins recouverte par des dépôts quaternaires. Elle surmonte normalement en concordance les horizons carbonatés du Berriasien (Guiraud, 1973). Dans les Monts de Batna la base de cette formation, essentiellement argilo-silteuse et a passées gréseuses fines (5 à 40 cm) assez régulières, appartient encore au Berriasien.

- La formation dolomitico-gréseuse : principalement hauterivienne ; des dolomies ou calcaires dolomitiques apparaissent ensuite très brutalement et probablement de façon à peu près synchrone. Formant des bancs souvent très massifs, ces roches alternent avec des grés plus ou moins quartzitiques et quelques argiles marneuses.

- la formation argilo-calcaro-gréseuse : qui recouvre le Barrémien et l'Aptien inférieur ; dans cette formation les niveaux gréseux semblent avoir tout d'abord une importance prédominante, tout au moins dans les chaînons situés à l'Est d'Ain Azel (ex Ampère) et dans les Monts de Batna. Avant que ne se développent de nombreuses passées franchement calcaires.

- La formation calcaro-marneuse à Orbitolines : en couverture et en concordance de la formation gréseuse du Barrémien fait suite un ensemble constitué d'un niveau marneux à la base (70 m d'épaisseur) surmonté par une formation à dominante calcaire. A Tizourette (terminaison périclinale sud de l'anticlinal des Monts de Batna-Bellezma), le niveau marneux de base a livré à Laffite (1939) : *Ostrea latissima*, *Alectryonica rectangularis*, *Rynchonella parvirotris* et *spondylus* sp. qu'il attribue à l'Aptien inférieur (Guiraud, 1973).

Vers l'Albien des Monts de Bellezma-Batna et d'une manière générale, la sédimentation ne semble pas très différente de celle du reste du Crétacé inférieure, La faible profondeur du milieu de dépôt est un des caractères majeurs d'une sédimentation qui reste sous une influence marine constante. La majeure partie des affleurements albiens sont localisés sur le flanc interne de la haute combe péri-anticlinal de l'Ouest des Monts de Batna. La limite inférieure de la série a été fixée au sommet de la légère dépression qui couronne la série à orbitolines et la limite supérieure

au sommet des derniers bancs calcaires décimétriques, sous la grande masse des argiles et marnes cénomaniennes (Bureau, 1975c).

Le *Crétacé supérieur* occupe une grande superficie à l'affleurement dans les Monts de Bellezma-Batna. Morphologiquement il forme de vastes dépressions sénoniennes faites de marnes, d'argiles intercalations calcaires et de reliefs marnocalcaires comprenant une épaisse barre à rudistes du Cénomaniens au Turonien. Localement, les reliefs peuvent être couronnés par des calcaires massifs à algues du Maastrichtien. (Yahiaoui, 1990). Dans les Monts de Bellezma Batna, Bureau (1975c), distingue la limite entre le Crétacé inférieur et le Crétacé supérieur par le fait que ce dernier ne comporte jamais de couches gréseuses même en plaques minces.

Bureau (1975c) signale que dans les Monts de Bellezma Batna, la série *cénomanienne* est coupée en deux éléments lithologiques : l'un marneux, à la base, intercalé par deux barres de marno-calcaire où Vila (1977) a pu reconnaître : *Praeglobotruncana stephani*, *Rotalipora appenninica*, *Hedbergella planispira* etc. qu'il attribue à la limite du Vraconien-Cénomaniens, ainsi qu'une macrofaune abondante: *Mantelliceras martinprevi*, *Acanthoceras* cf. *rothomagensis* *Hemiaster batnensis* etc. attribuée au Cénomaniens inférieur, et l'autre calcaire au sommet et dont la puissance de la série est au maximum de 600 m au Dj. Chafez (WSW d'Oued Chaâbat), là elle comporte environ 260 mètres de terrains attribuables au Cénomaniens calcaire.

Le *Turonien* des Monts de Bellezma Batna est composé d'une série marnocarbonatée qui a été subdivisée en quatre formations datées par les ammonites, les foraminifères planctoniques et les ostracodes. De bas en haut se succèdent :

- Les formations de la dolomie de l'Oued Skhoun et des calcaires de Chaâbet (Cénomaniens supérieur à Turonien inférieur),
- La formation des calcaires inférieurs de Berriche (Turonien moyen),

- La formation des marnocalcaires de Chaâbet (Turonien supérieur)
- La formation des calcaires supérieurs de Berriche (Turonien supérieur, Coniacien inférieur).
La limite cénomano-turonienne doit se placer dans les Dolomies de l'Oued Skhoun, mais elle a pu être précise au sein de leur équivalent latéral : les calcaires de Chaâbet, développés dans la région de Chaâbet, grâce aux ammonites et aux foraminifères planctoniques. La limite Turonien-Coniacien se situe au toit des calcaires à rudistes et polypiers constituant la base des Calcaires supérieurs de Berriche et non au sommet de cette formation comme l'indiquait Laffitte. Elle est fondée, en l'absence d'ammonite, sur des associations de microfaunes à foraminifères benthiques et à ostracodes. Enfin, le Turonien, très fossilifère dans le secteur septentrional (Chaâbet), a pu être divisé en trois parties étagées chacune par des ammonites et des foraminifères planctoniques (Yahiaoui, 1990).

Le *Sénonien* est généralement caractérisé par une formation marneuse qui affleure entre le piémont sud des Monts de Bellezma et le Djebel Metlili. Elle est composée par une succession très épaisse d'alternances marno-calcaire. Cette formation est surmontée par une assise de calcaires compacts, elle débute par une série marneuse qui contient de nombreux oursins et lamellibranches, des ammonites de genre *Tissotia* (fossile de zone de la base du Coniacien), suivi par des alternances de calcaires à silex et Inocérâmes, de marne à oursins et lamellibranches, de bancs gypseux et de rares niveaux glauconieux (Bellion, 1972).

Le *Campanien* montre une formation marneuse, dans laquelle les passées calcareuses sont rares et qui renferme également des lumachelles à huitres et des oursins.

Le *Maastrichtien* est calcaire néritique, très riche en bryozoaires à sa base et en Laffittéines à son sommet, avec des algues, des polypiers, des Inocérâmes.

Les affleurements du *Tertiaire* sont relativement moins étendus dans l'avant-pays de la chaîne alpine d'Algérie orientale comparativement aux terrains du Secondaire. Les terrains les

plus récents remanient souvent des associations de microfaunes se rapportent aux formations érodées (Marmi, 1995).

Le **Danien** est caractérisé par une sédimentation hétérogène très différente des séries précédentes, bien que concordante, elles présentent un caractère détritique ou continental plus ou moins marqué (grès, concentration ferrugineuses et couches rouges, débris d'os et bois flottés, Bellion et al. 1973).

Le **Miocène** le plus souvent continentales, parfois lagunaires, de couleur généralement rouge, qui reposent en discordance plus ou moins accentuée sur l'Éocène ou le Secondaire (Guiraud, 1973). La formation la plus ancienne est constituée par des conglomérats, des grès, des marnes et argiles rouges. Ces formations sont bien représentées à l'Ouest du Ras Moulay Yahia et au Kef Sefiane. Au Miocène moyen se présente des formations marneuses ; avec deux assises, d'épaisseur inégale :

- Assise I : la plus complète observée entre les Monts Bellezma et le djebel Metlili dans la vallée de l'Oued Berriche.
- Assise II : affleure plus à l'Ouest, elle est constituée de marnes à gypse diffus, sans macrofaune et plus souvent recouverte d'épandages quaternaires. (Bellion. 1972).

Le **Pliocène** est développé à la partie occidentale de Monts de Batna-Bellezma, caractérisé par une formation détritique avec trois sous-ensembles concordants entre eux et avec la formation marneuse, cette formation est en majorité gréseuse. Les derniers dépôts qui la constituent sont conglomératiques, probablement deltaïques. (Bellion, 1972).

Le **Quaternaire** est bien représenté autour de l'extrémité occidentale des Monts du Batna Bellezma par deux types de dépôts :

- Les glaciais, qui correspondent à des recouvrements détritiques en général peu épais et plus au moins riches en galets.

- Les travertins, qui résultent de la superposition d'horizons carbonatés et relativement pauvres en galets, sont au nombre de quatre. Leur élaboration est étroitement liée aux écoulements de sources anciennes (Bellion, 1972).

3.2 Cadre structural

La région d'étude couvre deux domaines structuraux distincts : le préatlasique au Nord (monts de Bellezma) et l'atlasique au Sud (monts des Aurès). Ces ensembles sont séparés par des zones faillées (Fig.4).

Les Monts de Bellezma occupent une position particulière dans le domaine préatlasique. Ils forment le prolongement oriental des Monts du Hodna limitant le bassin de Barika à l'Est. La structure des Monts de Bellezma résulte de la phase alpine (Bellion, 1972 ; Bureau, 1973), traversé par plusieurs systèmes de failles de directions ENE-OSO et NO-SE (Yahiaoui, 1990).

Les Monts des Aurès appartiennent au domaine atlasique. Ils sont formés de vastes plis plu ou moins réguliers de direction ENE-OSO ou E-O. Ils se rattachent à un bassin subsidient d'âge mésozoïque. Ce bassin en position intracratonique est néanmoins largement ouvert sur le domaine téthysien auquel il se raccorde au niveau de l'Atlas tunisien septentrional. Sa situation intermédiaire, entre la plateforme saharienne au sud et la zone pré-atlasique au nord (Herkat, 2004, 2005), explique les variations latérales de faciès qu'il présente. Ces monts sont affectés par plusieurs accidents d'ampleur régionale (Bellion et Guiraud, 1973).

L'aspect structurale général de la région est caractérisé par de vastes anticlinaux de direction (NE –SW), affecté par plusieurs systèmes de failles qui s'organisent autour de trois directions ; failles directionnelles NE –SW, failles transversales NW –SE, et failles E - W (Djeffal, 2014 ; Guiraud, 1973 ; Laffitte, 1939 ; Yahiaoui, 1990 ; Youcef-Brahim, 2018), caractérisé par des reliefs forts répartis en plusieurs chaînons orientés sensiblement ENE-OSO (Fig. 3).

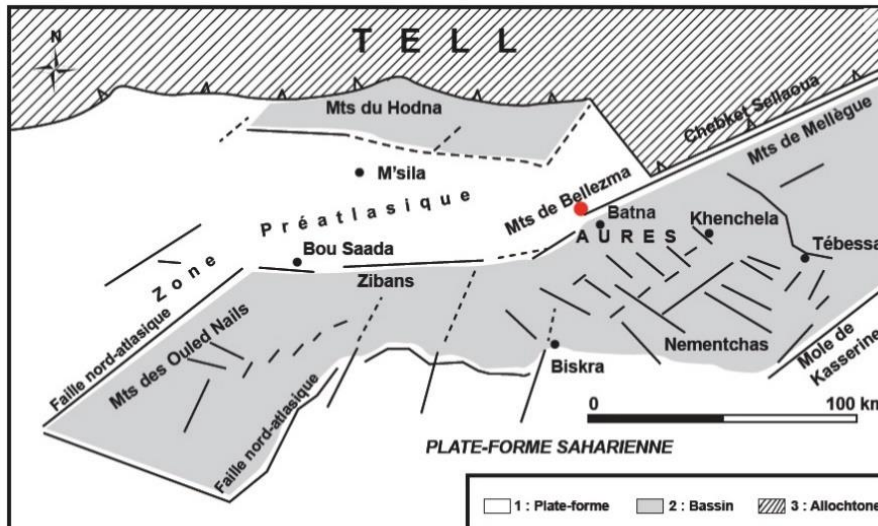


Fig. 4. Les principaux groupes structuraux dans le domaine atlasique oriental (Herkat, 2006).

3.3 GEOLOGIE LOCALE

3.3.1 Introduction

Le Cénomaniens aux alentours de Batna est représenté par la Formation ‘Marnes de Smail’ ; une formation lithologique largement homogène et d'extension régionale (Yahiaoui, 1990). Cette terminologie a été adoptée par (Slami, 2014 ; Slami et al. 2018 Aouissi, 2018 ; Aouissi et al. 2020 ; Aouissi, 2020 ; Aouissi et al. 2022). Cette Formation est une puissante masse marneuse entrecoupée de bancs calcaires, riche en macrosinvertébrés très diversifiés et bien conservés (coraux, huîtres exogyres, rudistes, gastéropodes, ammonites et échinides).

Sur la base des résultats de (Aouissi et al. 2020), qui proposent une zonation d'ammonites appliquée au Cénomaniens des montagnes de Bellezma et des Aurès ; sept zones d'assemblage d'ammonites sont proposées: Zone d'assemblage à *Mantelliceras martelli* *Sharpeiceras laticlavium* (Cénomaniens inférieur), Zone d'assemblage à *Mantelliceras dixonii* (Cénomaniens inférieur terminal), Zone d'assemblage à *Cunningtoniceras inerme* (Cénomaniens moyen inférieur), Zone d'assemblage à *Acanthoceras rhotomagense* et *Acanthoceras cf.*

rhotomagense (Cénomaniens moyen moyen), Zone d'assemblage à *Acanthoceras amphibolum* (Cénomaniens moyen supérieur), Zone d'assemblage à *Acanthoceras jukesbrownei* (Cénomaniens moyen terminal), et Zone d'assemblage à *Neolobites vibrayeanus* (Cénomaniens supérieur inférieur). La Zone d'assemblage à *Mantelliceras mantelli* *Sharpeiceras laticlavium* est subdivisée respectivement en Sous-zones à *Submantelliceras aumalense*, *Sharpeiceras schlueteri* et à *Mantelliceras saxbii* (Tableau 1).

Le Cénomaniens moyen renferme aussi une abondance particulière du corail scléactinaire *Aspidiscus cristatus* Lamarck, 1801 (Salmi-Laouar et al. 2019).

Tableau 1 : Schéma de la zonation par ammonites dans les Bellezma-Aures (Aouissi et al. 2020)

Cénomaniens supérieur		
	<i>Neolobites vibrayeanus</i>	
Cénomaniens Moyen	<i>Acanthoceras jukesbrownei</i> ; <i>A. amphibolum</i>	
	<i>Acanthoceras rhotomagense</i> <i>Acanthoceras cf. rhotomagense</i>	
	<i>Cunningtoniceras inerme</i>	
Cénomaniens Inférieur	<i>Mantelliceras dixoni</i>	
	<i>Mantelliceras mantelli</i> <i>Sharpeiceras laticlavium</i>	<i>Mantelliceras saxbii</i>
		<i>Sharpeiceras schlueteri</i>
		<i>Submantelliceras aumalense</i>

Sur la base de ces résultats et leur combinaison avec la lithologie et les biofaciès caractéristiques, quatre unités topostratigraphiques informelles sont déterminées et désormais reconnues ; désignées de A-D (Tableau 2).

Tableau 2 : Découpage litho-biostratigraphique du Cénomaniens de la région d'étude (Aouissi et al. 2020)

Formation	Age		Unité Lithologique	Description	Eléments de datation
Marnes de à Smail	Cénomaniens	Sommital	D	Calcaire à <i>Caprinules</i>	<i>Caprinula</i>
		Supérieur	C	Marnes à <i>Neolobites vibrayeanus</i>	<i>Calycoceras naviculare</i> <i>Neolobites vibrayeanus</i>
		Moyen	B	Marnes à <i>Aspidiscus cristatus</i>	<i>Acanthoceras jukesbrowni</i> <i>Acanthoceras rotomagense</i> <i>Cunningtoniceras inerme</i> <i>Aspidiscus cristatus</i>
		Inferieur	A	Marnes à Exogyres	<i>Mantelliceras dixoni</i> <i>Mantelliceras mantelli</i>

3.3.2 Description des coupes

La Formation cénomaniennne des ‘Marnes de Smail’ dans les Monts de Bellezma et des Aurès, Algérie nord orientale, est bien exposée et riche en macro-invertébrés fossiles. L'épaisseur de la formation atteint 260 m au Djebel Metrassi et 300 m dans la coupe de Hamla, 370 m au Djebel Bouarif, 165 m au Théniet El Manchar (Fig. 5). Dans le détail, la description lithologique et paléontologique des différentes unités formant la Formation des ‘Marnes de Smail’ combinée aux résultats des travaux antérieurs (Slami, 2014 ; Gill et Chikhi, 1991 ; Slami, 2019 ; Salmi-Laouar et al. 2019 ; Aouissi et al. 2018 ; Aouissi et al. 2020 ; Aouissi, 2020) dans la région montre :

Tableau 3 : L'ensemble des caractéristiques pétrographiques distinguées dans la formation de Smail sur les 04 coupes étudié (Bouarif, Metrassi, Hamla et Théniet el Menchar).

Caractéristiques	Description
Lithofaciès	Alternance monotone de marnes friables de couleur variable et de calcaires à différents aspects grisâtres bioclastiques parfois ferrugineux et phosphatés.
Microfaune dominée par les ostracodes	Formes lisses dominantes, formes ornées moins abondantes. Diversité spécifique moyenne. Ils sont quasi-absents dans les termes du passage Cénomanien-Turonien, et dans les termes basals du Turonien.
Foraminifères benthiques arénacés abondants et peu diversifiés	Les formes arénacées sont abondantes avec une diversité spécifique généralement faible sauf dans certains niveaux où elle est moyenne ; Formes calcitiques hyalins très rares ; abondantes notamment dans les termes du passage Cénomanien-Turonien, et dans les termes inférieurs du Turonien. Formes calcitique porcelaines peu abondantes.
Foraminifères planctoniques sub-absents sauf dans les niveaux du passage C/T et du Turonien inférieur	Formes globuleuses dominantes surtout les Whiteinelles et les Hétérohélicidés. Leur abondance est seulement marquée dans les niveaux du passage Cénomanien-Turonien et dans les termes basals du Turonien.
Minéraux et Métaux	La calcite, le fer, le phosphate, la glauconie, la pyrite, et les dendrites de Manganèse.
Autres éléments constitutifs	Pellets, intraclastes, dolomite, et la matière organique.
Textures	Mudstone, wackstone, et packstone.
Contenu macrofaunistique	Organismes benthiques très abondants, les organismes pélagiques (ammonites) sont récoltés dans quelques rares occasions.
Ichnofaciès présents	Présents dans plusieurs niveaux, très abondant au Cénomanien moyen et supérieur représentés par des traces de bioerosions et des Epibiontes, dominé par des formes Domichnia, Praedichnia et fodinichnia.

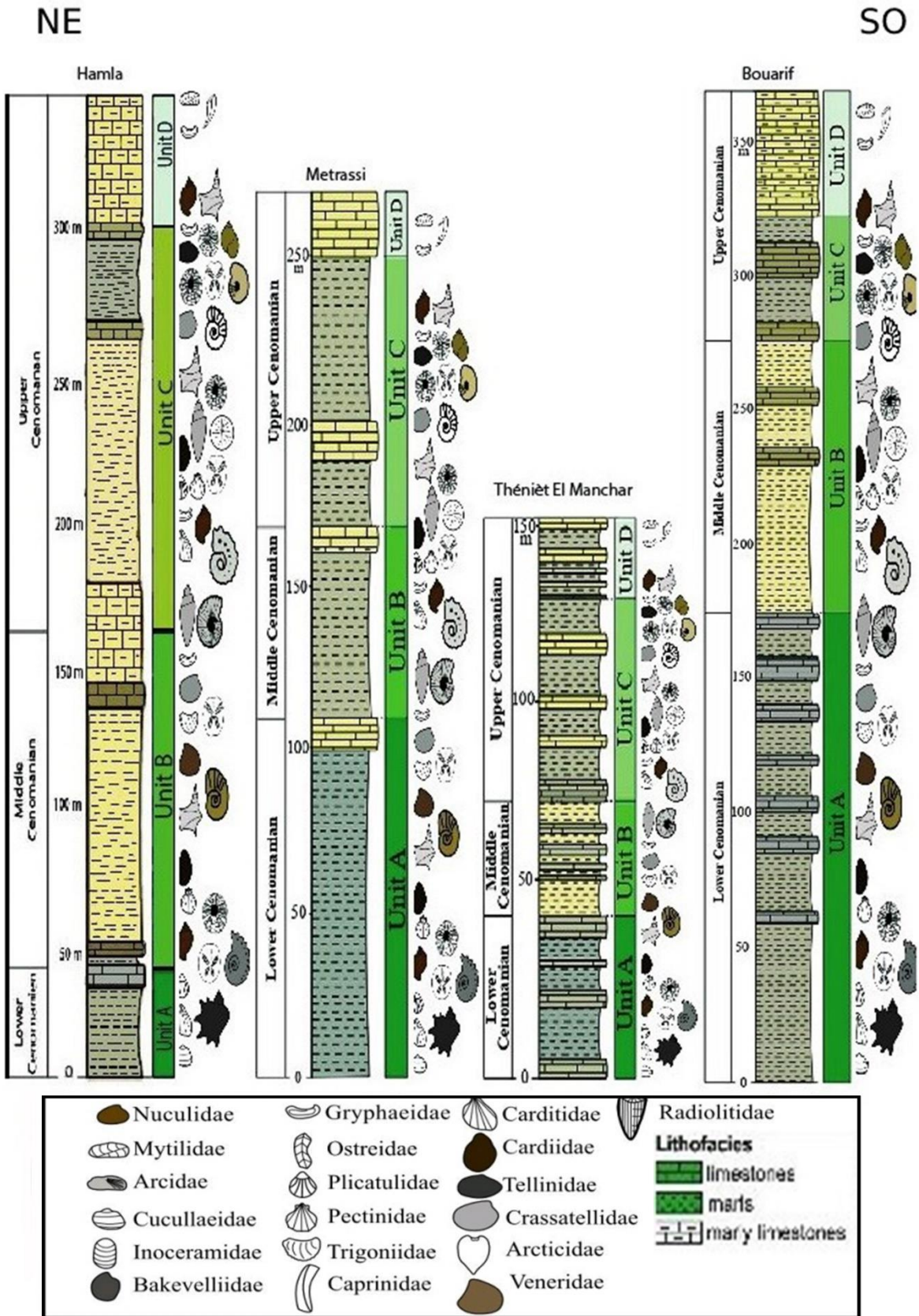


Fig. 5. Colonnes lithostratigraphiques des quatre sections avec la distribution respective de la macrofaune

3.3.2.1 Unité A : Ammonites et marnes à huîtres exogyres

L'unité A représente les termes inférieurs de la formation présente dans les quatre sections étudiées. Elle est, généralement, représentée par des marnes argileuses vertes à grises avec des fissures millimétriques remplies de gypse lamellaire syndiagénétique. En remontant dans la succession, les marnes contiennent des calcaires marneux gris-bleu et des calcaires gris interstratifiés. L'épaisseur de cette 'unité est de 170 m au Djebel Bouarif, 110 m au Djebel Metrassi, 45 m au Théniet El Manchar et 50 m à Hamla. Elle renferme une riche faune de macrosinvertébrés bien diversifiée dominée par les bivalves [*Nucula margaritifera* (Douvillé, 1916), *Pinna* sp., *Exogyra conica* (J. de C. Sowerby, 1813), *Costagyra olisiponensis* (Sharpe, 1850), *Ceratostreon flabellatum* (Goldfuss, 1833), *Rhynchostreon suborbiculatum* (Lamarck, 1801), *Plicatula auressensis* (Coquand, 1862), *Plicatulaourneli* (Coquand, 1862), *Plicatula ferryi* (Coquand, 1862), *Neithea coquandi* (Péron, 1877), *Pterotrignonia scabra* (Lamarck, 1819), *Clisocolus corrugatus* (Popenoe, 1937), *Granocardium carolinum* (d'Orbigny, 1843), *Cucullaea* cf. *diceras* (Seguenza, 1882), *Cucullaea trigona* (Seguenza, 1882), *Cucullaea diceras* (Seguenza, 1882), *Cucullaea thevestenensis* (Coquand, 1862), *Trapezium coxi* (Dartedville & Freneix, 1957), *Paraesa faba* (J. de C. Sowerby, 1827), *Lucina fallax* (Forbes, 1846), *Protocardia hillana* (J. Sowerby, 1813), *Meretrix desvauxi* (Coquand, 1862), *Arctica picteti* (Coquand, 1862), *Arctica rostrata* (Fitton, 1836)], gastropodes [*Turritella difficilis* (d'Orbigny, 1842), *Campanile ganesha* (Noetling, 1897), *Cimolithium tenouklense* (Coquand, 1862), *Aporrhais dutrugi* (Coquand, 1862), *Pterodonta elongata* (d'Orbigny, 1843), *Tylostoma globosum* (Sharpe, 1849), *Tylostoma cossoni* (Thomas & Péron, 1889), *Avellana cassis* (d'Orbigny, 1842), *Aporrhais dutrugi* (Coquand, 1862), *Aporrhais* sp.2, *Pyrazus valeriae* (De Verneuil & De Lorière, 1868), *Strombus arnaudi* (Thomas & Péron, 1889)], ammonites [*Sharpeiceras laticlavium* (Sharpe, 1855), *Mantelliceras mantelli* (J. Sowerby, 1814), *Mantelliceras dixonii* (Spath, 1926), *Sharpeiceras falloti* (Collignon, 1931), *M saxbii*,

M cantianum, *M couloni*, *M lymense*, *Mantelliceras* sp, *Sharpeiceras schlueteri*, *S mocambiquense*, *Sharpeiceras* sp., *Calycoceras (Newboldiceras) sp.*, *Forbesiceras* cf. *largilliertianum*, *Submantelliceras aumalense* et *Mrhiliceras lapparenti* et échinides [*Heterodiadema libycum* (Agassiz & Desor, 1846), *Hemiaster gabrielis* (Péron & Gauthier, 1878), *Hemiaster syriacus* (Conrad, 1852), *Mecaster pseudofourneli* (Péron & Gauthier, 1878), *M. batnensis* (Coquand, 1862), *Pedinopsis desori* (Coquand, 1862)]

La lithologie homogène de cette unité milite pour un environnement marin ouvert stable placé sur le début du talus continental. La grande diversité faunistique indique une position mésopélagique (-200 à -1000), dans la zone photique, avec un fond marin boueux bien oxygéné.



Fig. 6. Unité A : Ammonites et marnes à huîtres exogyres

3.3.2.2 Unit B: *Marnes a Aspidiscus cristatus*

L'unité B consiste en une succession monotone de marnes grises à beiges, avec des intercalations épaisses de calcaire gris, atteignant une épaisseur de 130 m au Djebel Bouarif, 57 m au Djebel Metrassi, 30 m au Théniet El Manchar et 110 m à Hamla. Les macro-invertébrés sont abondants, en particulier le corail scléactiniaire *Aspidiscus* (Lamarck, 1801). La macrofaune est représentée par les bivalves [*Exogyra conica* (J. de C. Sowerby, 1813), *Costagyra olisiponensis* (Sharpe, 1850), *Ceratostreon flabellatum* (Goldfuss, 1833), *Rhynchostreon suborbiculatum* (Lamarck, 1801), *Plicatula auressensis* (Coquand, 1862), *Eoradiolites liratus* (Conrad, 1852), *Tenea delectrei* (Coquand, 1862)], les gastéropodes [*Cimolithium tenouklense* (Coquand, 1862), *Nerinea texana* (Roemer, 1849), *Plicatula fourneli* (Coquand, 1862), *Cucullaea trigona* (Seguenza, 1882), *Cucullaea cf. dicerus* (Seguenza, 1882), *Neithea dutruei* (Coquand, 1862), *Protocardia regulare* (Coquand, 1862), *Neithea coquandi* (Péron, 1877), *Lucina masyllaea*, *Meretrix desvauxi* (Coquand, 1862), *Trapezium coxi* (Dartedville & Freneix, 1957), *Neithea quinquecostata* (Sowerby, 1814), *Protocardia hillana* (J. Sowerby, 1813), *Campanile ganesha* (Noetling, 1897), *Strombus incertus* (d'Orbigny, 1842), *Aporrhais dutruei* (Coquand, 1862), *Pterodonta intermedia* (d'Orbigny, 1843), *Pterodonta deffisi* (Thomas & Péron, 1889), *Pterodonta inflata* (d'Orbigny, 1843), *Pterodonta cf. deffisi* (Thomas & Péron, 1889)], échinides [*Hemiaster syriacus* (Conrad, 1852), *Hemiaster gabrielis* (Péron & Gauthier, 1878) , *Mecaster batnensis* (Coquand, 1862), *Pedinopsis halperti* (Fourtau, 1921)] et ammonites [*Acanthoceras rhotomagense* (Brongniart, 1822), *Cunningtoniceras inerme* (Pervinquièrre, 1907), *Cunningtoniceras africanum* (Pervinquièrre, 1907), *Cunningtoniceras tinrhertense* (Collignon, 1965), *Turrilites costatus* (Lamarck, 1801), *Calycoceras (Newboldiceras) tunisiense* (Kennedy & Gale, 2015), *Neolobites peroni* (Hyatt, 1903), *Acanthoceras cf. rhotomagense*, *A. amphibolum* (Morrow, 1935), *A. jukesbrowni* (Spath, 1926)]. L'abondance du corail *Aspidiscus cristatus* ainsi que sa

morphologie indiquent un environnement peu profond avec un faible hydrodynamisme, un taux de sédimentation élevé et un substrat vaseux.



Fig. 7. Unit B: Marnes à *Aspidiscus cristatus*

3.3.2.3 Unit C : Marnes à *Néolobites vibrayanus*

L'unité C est constituée de marnes à intercalations de bancs de calcaire d'ordre métrique. Son épaisseur varie de 50 m au Djebel Bouarif, 80 m au Djebel Metrassi, 55 m au Théniet El Manchar et 120 m à Hamla. Cette unité est caractérisée par l'abondance du bivalve *Rhynchostreon suborbiculatum* (Lamarck, 1801). Au Djebel Metrassi et à Bouarif la base de cette unité livre des rudistes [*Eoradiolites liratus* (Conrad, 1852), *Radiolites sauvagesi* (D'hombres-Firmas, 1837)] et autres bivalves [*Granocardium carolinum* (d'Orbigny, 1843), *Granocardium desvauxi* (Coquand, 1862), *Granocardium productum* (J. de C. Sowerby, 1832)]. Les marnes sommitales de cette unité, par contre et dans l'ensemble des sections étudiées, livrent une faune plus diversifiée, avec des bivalves [*Exogyra conica* (J. de C. Sowerby, 1813), *Costagyra olisiponensis* (Sharpe, 1850), *Ceratostreon flabellatum* (Goldfuss,

1833), *Ilymatogyra africana* (Lamarck, 1801), *Rastellum carinatum* (Lamarck, 1806), *Neithea dutruei* (Coquand, 1862), *Clisocolus corrugatus* (Popenoe, 1937), *Maghrebella cf. forgemoli* (Coquand, 1862), *Granocardium carolinum* (d'Orbigny, 1843), *Tenea delectrei* (Coquand, 1862), *Lucina fallax* (Forbes, 1846), *Ilymatogyra africana* (Lamarck, 1801), *Mytiloides* sp., *Curvostrea* sp., *Radiolites sauvagesi* (d'Hombres-Firmas, 1838), *Plicatula auressensis* (Coquand, 1862), *Maghrebella forgemoli* (Coquand, 1862), *Sphaerulites depressus* (Blanckenhorn, 1839), *Neithea coquandi* (Péron, 1877), *Curvostrea* sp., *Mytiloides* sp., *Venericardia forgemoli* (Coquand, 1862), *Paraesa faba* (J. de C. Sowerby, 1827), *Protocardia hillana* (J. Sowerby, 1813), *Ceratostreon flabellatum*, et *Ilymatogyra Africana*], des gastéropodes [*Campanile ganesha* (Noetling, 1897), *Cimolithium tenouklense* (Coquand, 1862), *Ampullina abeihensis* (Hamlin, 1884), *Columbellina fusiformis* (Douvillé, 1916), *Tylostoma pallaryi* (Péron & Fourtau, 1904), *Aporrhais dutruei* (Coquand, 1862), *Aporrhais* sp.1., *Columbellina (Columbellina) fusiformis* (Douvillé, 1916), *Tylostoma peroni* (Pervinquière, 1912), *Tylostoma globosum* (Sharpe, 1849), *Ampullina? abeihensis* (Hamlin, 1884), *Pterodonta cf. inflata* (d'Orbigny, 1843), *Pterodonta guerangeri* (d'Orbigny, 1843), *Nerinea requieniana* (d'Orbigny, 1842), *Nerinea* sp.2, *Nerinea* sp.2], des ammonites [*Neolobites vibrayanus* (d'Orbigny, 1841), *Nigericeras gadeni* (Chudeau, 1909)], des échinides [*Heterodiadema libycum* (Agassiz & Desor, 1846), *Coenholectypus excisus* (Desor, 1847), *Hemiaster gabrielis* (Péron & Gauthier, 1878), *Hemiaster syriacus* (Conrad, 1852), *Mecaster batnensis* (Coquand, 1862), *Mecaster cf. newtoni* (Fourtau, 1914), *Mecaster meghilensis* (Lambert, 1931), *Mecaster pseudofourneli* (Péron & Gauthier, 1878),] et un nautilite [*Angulithes mermeti* (Coquand, 1862)] à Hamla.

La diversité et l'abondance élevées dans cette unité et la présence d'éléments sténohalins, tels que les rudistes et les échinides, indiquent des conditions marines (bathymétrie, salinité, nutrition et oxygénation) normales dans le milieu. Les dépôts reflètent une tendance modérée à l'approfondissement causée par la transgression, avec une eau euhaline bien oxygénée et un faible taux de sédimentation.

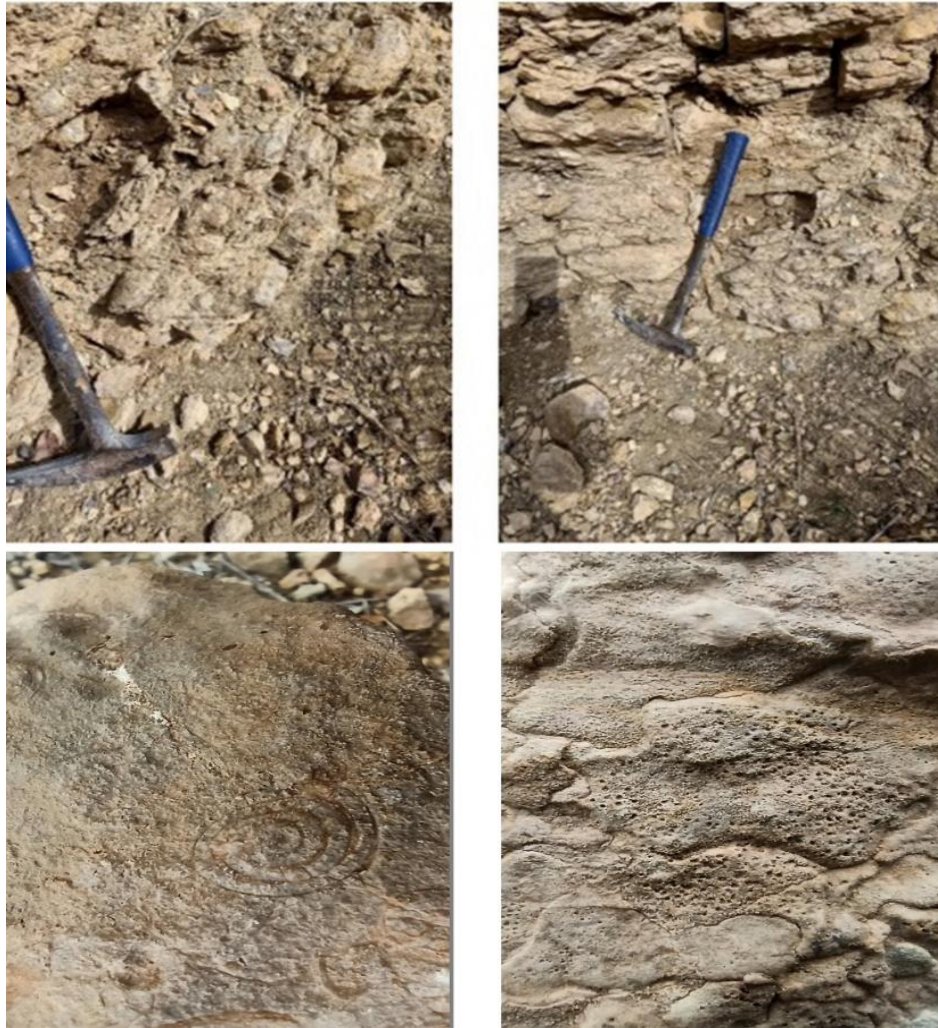


Fig 8. Unit C: Marnes à Néolobites vibrayeanus

3.3.2.4 Unit D : Calcaire a Caprinules

L'unité D forme les derniers termes de la formation. Elle est constituée de calcaires. Son épaisseur est de 50 m au Djebel Bouarif, 20 m au Djebel Metrassi, 22 m au Théniet El Manchar et 40 m à Hamla. Dans le secteur du Djebel Metrassi, cette unité est formée par des calcaires à

rudistes bien conservés attribués au genre *Caprinula*. Dans les secteurs de Djebel Bouarif et Théniet El Manchar, l'unité est constituée d'une alternance de marnes grises, de calcaires et de calcaires marneux gris. Le sédiment est relativement pauvre en macrofaune. Seuls les bivalves *Brachidontes* sp. et *Pycnodonte (Phygraea) vesicularis vesiculosa* (J. Sowerby, 1823), ainsi que l'échinide *Heterodiadema libycum* (Desor, 1846) ont été identifiés (R. Aouissi, 2020). La présence du bivalve *Pycnodonte (Phygraea) vesicularis vesiculosa* attribue à cette est considéré comme une espèce marqueur du Cénomanién supérieur dans la péninsule du Sinaï, Egypte (Ziko et al. 1993 ; Zakhera et Kassab, 2002 ; Abdel-Gawad et al. 2004). Nous supposons donc que l'unité D a été déposée au cours du Cénomanién supérieur. Les roches de l'unité D reflètent un environnement plateforme interne avec des eaux peu profondes, chaudes et bien oxygénées avec une énergie de l'eau faible à modérée.



Fig. 10. Unit D : Calcaire a Caprinules

3.4 Conclusion

La formation des Marnes de Smail représente le Cénomaniens aux alentours de Batna. Sur la base de son contenu paléontologique, cette formation est subdivisée en quatre unités lithologiques distinctes. Son étude, à travers les quatre coupes levées, montre une homogénéité nette dans la sédimentation et dans le contenu fossilifère témoignant d'une stabilité des conditions paléoécologiques et révèle, à la fois, des affinités paléobiogéographiques sud téthysiennes. La variation des épaisseurs est vraisemblablement liée à l'activité tectonique distensive au cours du Cénomaniens (Herkat, 1999). L'analyse des macros-invertébrés et leurs descriptions révèlent un potentiel élevé en bioérosion.

CHAPITRE III
ICHTNOLOGIE

4 CHAPITRE III : ICHNOLOGIE

4.1 Introduction

Ichnologie vient du mot grec (Ichnos), qui signifie trace et (Logo) signifie étude. C'est une science multidisciplinaire qui se concentre sur l'étude des traces produites par des organismes (animaux, végétaux et microbes) sur ou dans un substrat, Elle traite tous les aspects liés à la bioturbation, la bioérosion et la biodéposition (Pemberton et al. 1992 ; Bromley, 1990, 1996 ; Buatois et Mángano, 2011). C'est un outil puissant dans la stratigraphie et la reconstruction des tendances évolutives et des extinctions massives. En tant que discipline, l'étude des structures sédimentaires biogéniques s'est avérée très importante pour la paléontologie et la géologie sédimentaire. C'est une science interdisciplinaire qui nécessite la combinaison des méthodes sédimentologique, paléontologiques, biologiques et écologiques (Bromley 1996). La tendance à utiliser les traces fossiles pour caractériser les environnements de dépôt du passé a commencé très tôt de Dolf Seilacher (p. ex. Seilacher, 1964, 1967).

La première utilisation du terme ichnologie revient au chercheur E. Hitchcock (1858) qui étudia les traces de vertébrés des séries mésozoïques de la vallée du Connecticut (Etats Unis). A cet effet, on peut dire que c'est une science charnière entre la paléontologie et la sédimentologie. Utilisant comme outils des traces fossiles (également appelés ichnofossiles), qui sont des structures fossilisées produites dans des substrats allant des sédiments non lithifiés aux sédiments rocheux ou matière organique (y compris coquillages, os, bois et tourbe) par l'activité des organismes.

4.2 Classification des traces fossiles

4.2.1 Classification morphologique

Certaines traces fossiles sont organisées sur la base de leurs caractéristiques morphologies générales (Książkiewicz, 1977). Elles sont des structures biogéniques liées à la destruction du platier rocheux du substrat consolidé d'une façon mécanique ou biochimique (perforant, rongeur, grattant, mordant) due à des organismes endolithiques (spongiaires, bivalves et quelques algues). Elles peuvent être regroupées en catégories, selon le type de substrat et mode d'origine (Fig. 11).

- **Terriers** : catégorie de traces-fossiles la plus courante, comprenant galeries, tunnels, puits, chambres, etc., excavés par les animaux dans un substrat non consolidé.
- **Traces de bioérosion** : Si la perforation a eu lieu dans un substrat consolidé et lithifié, la trace résultante est une trace fossile de bioérosion telle qu'une perforation ou une éraflure.
- **Sentiers** : les sentiers sont des éléments de surface, dans lesquels le producteur laisse un chemin continu derrière lui tout en se déplaçant.
- **Voies de circulation** : contrairement aux sentiers, les voies de circulation, sont des chemins discontinus qui proviennent de la marche des animaux. Les empreintes individuelles sont appelées pistes.
- **Traces de plante-racine** : la plupart des traces sont liées à l'activité animale, bien que les plantes puissent aussi laisser leurs traces en moyen de leurs racines.

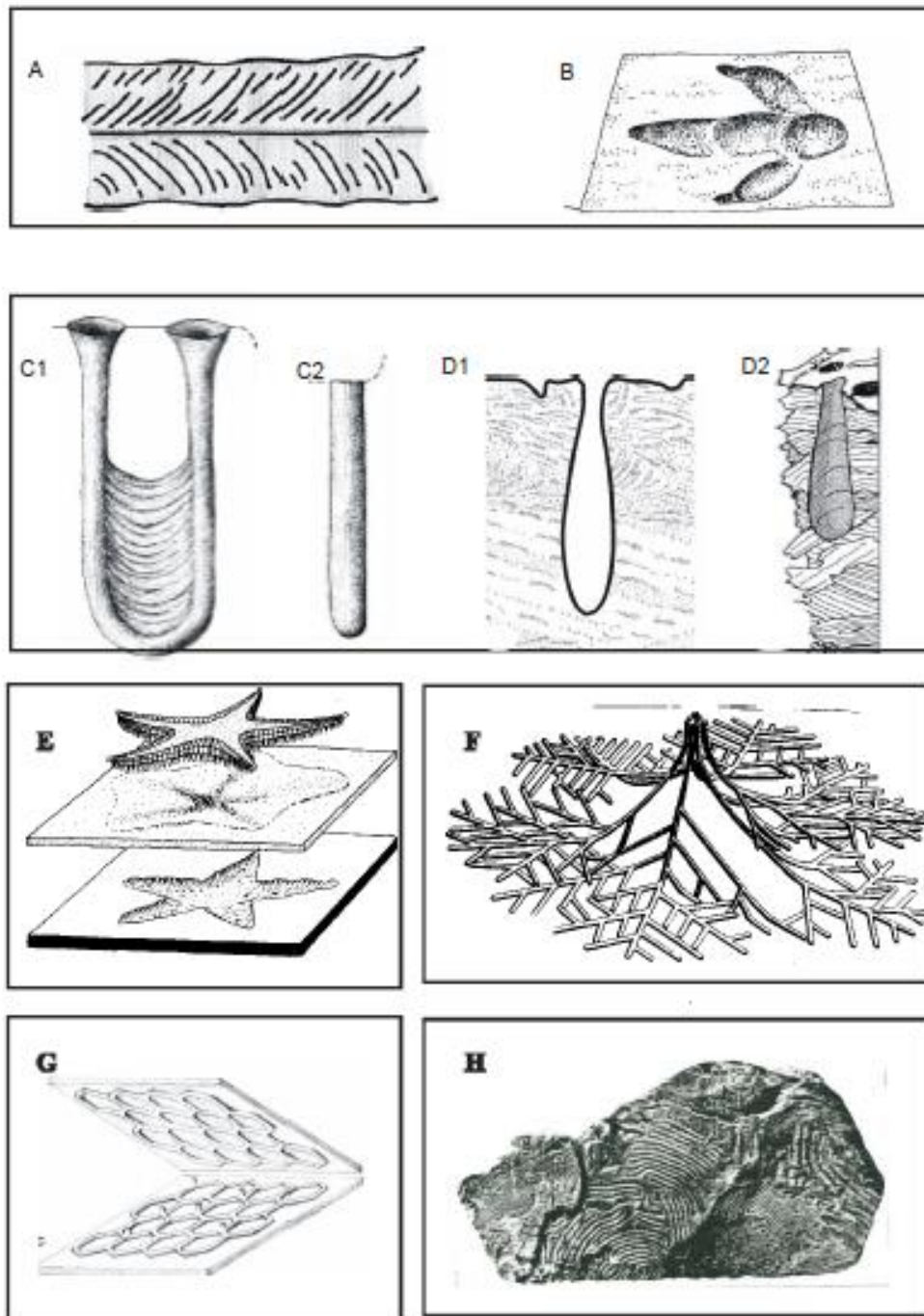


Fig. 11. Différents exemples de traces fossiles (substrat meuble ou consolidé). Trace de locomotion d'invertébré *Cruziana* (A), trace de locomotion de vertébré (B), terriers verticaux (C) (C1: *Diplocraterion* ; C1: *Skolithos*), deux types de bioérosion (D) (D1: substrat rocheux : *Gastrochaenolites* ; D2: substrat ligneux : *Teredolites*), trace de repos d'étoile de mer (*Asteriacites*) (E), terrier branchu (*Chondrites*) (F), trace de culture *Agrichnia* (*Paleodictyon*) (G), trace en méandre de recherche de nourriture pascichnia (*Helminthoides*) (F).

4.2.2 Classification éthologique

La classification des comportements des traces fossiles (Fig. 12) proposée par Seilacher (1953) se base sur des facteurs écologiques et proposa cinq principales traces fossiles et qui sont :

4.2.2.1 *Les traces de repos (Cubichnia) :*

Ce sont des traces caractérisées par le remplissage des excavations peu profondes qui imitent la morphologie du fabricant de trace qui reste immobile à la surface du sédiment (trace de repos ou de stationnement). Ex : Asteriacites = empreinte d'étoile de mer posée sur le fond.

4.2.2.2 *Les traces de locomotion (Repichnia) :*

Ce sont des traces laissées par des organismes se déplaçant à la surface du sédiment ex : Cruziana, certaines empreintes de pas de tétrapode (Cheiroterium). Parfois on utilise le terme Ambulichnia pour caractériser la locomotion de quelques vertébrés.

4.2.2.3 *Les traces de pacage (Pascichnia) :*

Il s'agit des traces d'alimentation horizontales bidimensionnelles, produites sur la surface de substrat, soit en forme spiralée, soit elles présentent des séries en forme sigmoïdale, ainsi que d'autre forme géométrique. Ex : *Cosmorhaphe* ; *Helminthoraphe* (Ex. *Helmenthoides*).

4.2.2.4 *Galeries de nutrition ou d'alimentation (Fodinichnia) :*

Ce sont des galeries creusées par des animaux se déplaçant à l'intérieur du sédiment présentant une morphologie tridimensionnelle distincte. Ils peuvent être dendritiques ou multi branchus et peuvent prendre d'autres modèles géométriques ex ; Chondrites.

4.2.2.5 *Les traces de demeure ou d'habitat (Domichnia) :*

Il s'agit des terriers creusés par des organismes qui s'en servent essentiellement comme un lieu d'habitat permanent ou temporaire ; ils peuvent être cylindriques non ramifiés ou en "U" Ex : Diplocraterion ; Skolithos ; Thalassinoides.

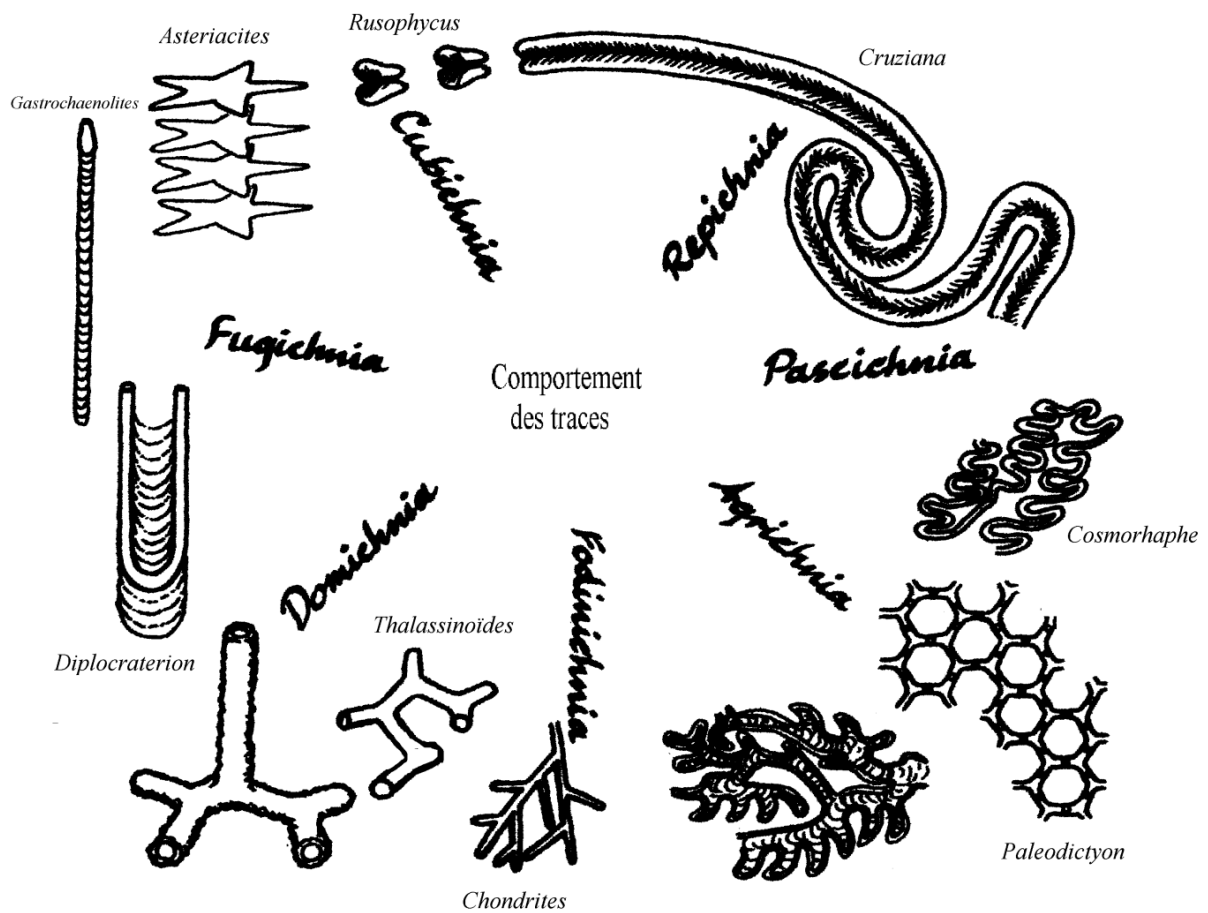


Fig. 12. Catégories éthologiques des traces fossiles (Seilacher, 1953).

4.3 Les ichnofacies

Les ichnofaciès sont des combinaisons récurrentes de faciès sédimentaires et de traces fossiles, qui sont généralement autochtones. Ils apportent des données précieuses pour la reconstitution paléoécologique (Frey, 1978). L'association des traces fossiles est le résultat de l'action de plusieurs organismes qui vivaient dans des conditions très semblables pour marquer le type de milieu, selon le concept d'ichnofaciès (Seilacher, 1953, 1964) qui correspond à une association de traces fossiles qui expriment des conditions paléoenvironnementales telles que la bathymétrie, la salinité, la cohérence du substrat, luminosité, nutrition et l'oxygénation. Seilacher (1964, 1967) introduit six ichnofaciès marins (*Scoyenia*, *Skolithos*, *Glossifungites*,

Cruziana, *Zoophycos* et *Nereites*). Deux autres ichnofaciès (*Trypanites* et *Teredolites*) ont été ajoutés (Frey & Seilacher 1980) et ils sont basés principalement sur la consistance du substrat.

Un autre ichnofaciès a été introduit par Bromley & al. (1984) basé sur des environnements récents, il s'agit de l'ichnofaciès à *Psilonichnus*.

Deux autres ichnofaciès typiques des environnements continentaux ont été introduits qui sont ichnofaciès à *Mermia* correspondant à un milieu lacustre et l'ichnofaciès à *Coprinisphaera* correspondant à un milieu fluviatile (Buatois & Mangano, 1995). La figure 13 montre les caractéristiques et les ichnogenres de chaque ichnofaciès.

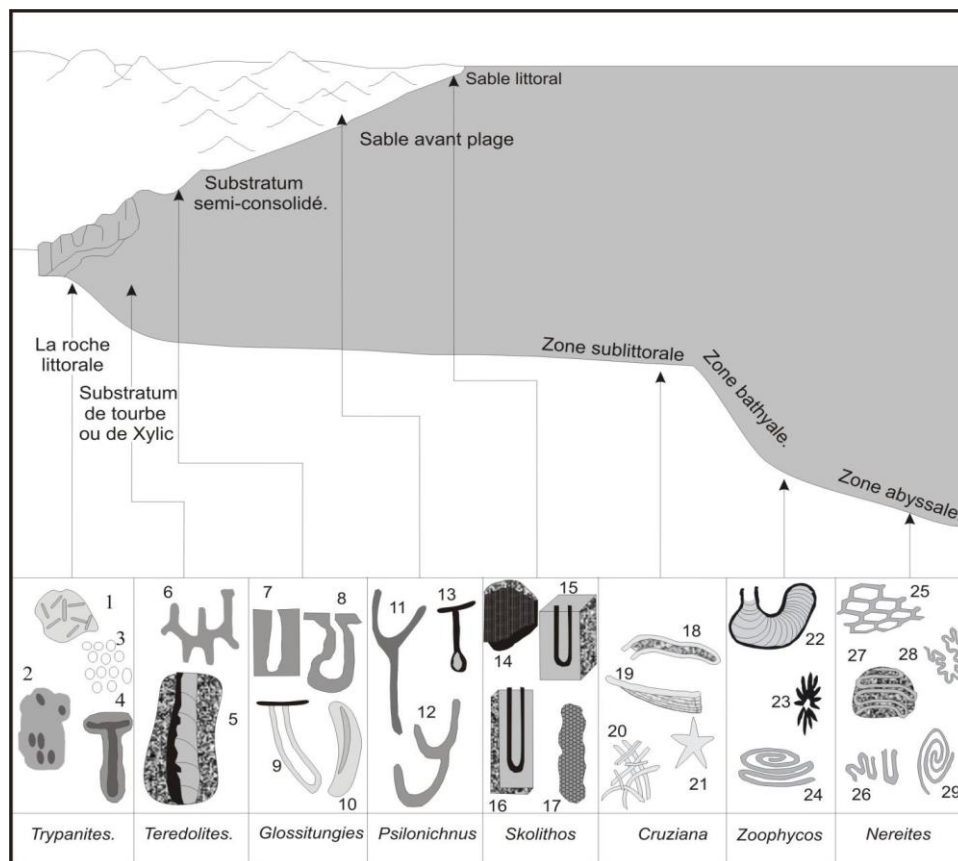


Fig. 13. Distribution des ichnofaciès marins (Seilacher, 1963, 1967 ; Crimes, 1975 ; Ekdale et al. 1984). 1- *Caulostrepsis*, 2 - *Entobia*, 3 - *Echinoid boring*, 4 – *Trypanites*, 5 – *Teredolites*, 6 – *Thalassinoides*, 7-8 - *Gastrochanenolites*, 9-15 - *Diplocraterion* (*Glossufingites*), 10-14 - *Skolithos*, 11-12 – *Psilonichnus*, 13 - *Macanopsis*, 16 - *Arenicolites*, 17 - *Ophiomorpha*, 18 -

Rhizocorallium, 19 - *Teichichus*, 20 - *Planolites*, 21 - *Asteriacites*, 22-24 - *Zoophycos*, 23 - *Lorenzina*, 25 - *Paleodictyon*, 26 - *Taphrohelminthopsis*, 27 - *Helminthoida*, 28 - *Cosmoraphe*, 29 - *Spirorhaphe*.

4.4 Les caractéristiques des principaux ichnofacies du domaine marin

La figure 14 montre la position typique des principaux ichnofaciès dans les environnements marins et continentaux (d'après Benton & Harper, 1997). Les principaux ichnofaciès sont :

- **Ichnofaciès à Trypanites** : Ce sont des traces fossilisées formées par des organismes marins, associés à des environnements de fonds rocheux caractérisés par des structures en forme de tige ou de canne. Ce type d'ichnofaciès a été décrit pour la première fois par le paléontologiste allemand Otto H. Schindewolf en 1951. Depuis, de nombreux auteurs, tels que Martin G. Lockley et ses collègues années, ont étudié les caractéristiques morphologiques et les relations avec les différents environnements marins. Il est considéré comme un indicateur important pour les conditions environnementales dans lesquelles il a été formé, telles que la profondeur de l'eau, les conditions de la colonne d'eau et les types de sédiments présents. C'est un outil précieux pour comprendre la biodiversité et les conditions environnementales dans le passé marin, et peut être utilisé pour la reconnaissance et la datation des séquences sédimentaires marines. Le plus souvent marqué par des perforations domichniques de vers (*Trypanites*), de bivalves (*Gostrochaenolites*), de bernacles (*Rogerella*) et d'éponges (*Entobia*), qui sont formés dans les roches du littoral ou dans les sols durs calcaires lithifiés du fond marin. Les traces de bioérosion faites par les gastéropodes et les échinides sont rarement préservées dans les cas anciens.

- **Ichnofaciès à Teredolites** : Les ichnofaciès à *Teredolites* sont des structures fossilisées formées par les *Térédolites* et les tubes creusés par les bivalves boréaux dans le bois, également connus sous le nom de moules de bois. Ils sont souvent associés à des environnements marins peu profonds et peuvent être utilisés pour comprendre les conditions météorologiques et

environnementales passées (Sieverts et al. 2014). Les ichnofaciès à *Teredolites* sont des marqueurs importants pour comprendre les environnements sédimentaires côtiers et marins du passé (Seilacher, 2007).

- **Ichnofaciès à *Glossifungites*** : sont des structures fossilisées formées par les burrows et les galeries creusées par les insectes xylophages. Ils peuvent être utilisés pour comprendre les conditions climatiques et environnementales passées, ainsi que la biomasse forestière. Les ichnofaciès à *Glossifungites* sont des marqueurs importants de la présence de forêts anciennes (Seilacher, 2007) et évaluer la biomasse forestière dans le passé et comprendre les changements environnementaux" (Sieverts et al. 2014). Cette ichnofaciès est caractérisé par des domichnies (*Glossifungites* et *Thalassinoides*) et parfois des structures de pénétration de racines de plantes. Les autres types de traces fossiles comportementales sont rares. Les traces se trouvent dans des sédiments fermes, mais non lithifiés, tels que les boues et les limons dans les zones marines intertidales et subtidale peu profondes. Les sols fermes peuvent se développer dans des situations à faible énergie telles que les marais salants, les barres de boue, les hauts plateaux intertidaux, ou dans des environnements marins peu profonds où l'érosion a décapé les couches superficielles non consolidées de sédiments (Benton & Harper, 1997).

- **Ichnofaciès à *Psilonichnus*** : ce sont des structures fossilisées formées par des tubes ou des galeries creusées par des annélides polychètes, également appelés vers marins. Ils sont souvent associés à des environnements marins peu profonds. "L'ichnofaciès à *Psilonichnus* sont des marqueurs importants de la présence de communautés animales riches en annélides polychètes (Seilacher, 2007). Il Montre un assemblage peu diversifié de petits terriers verticaux avec des chambres basales (*Macanopsis*), des terriers en forme de T et de Y à pente étroite (*Psilonichnus*), des traces de racines et des empreintes de vertébrés. Il peut être utilisé pour comprendre les conditions environnementales et les communautés animales passées dans les

milieux marins peu profonds" (Sievverts et al. 2014). Cet ichnofaciès est typique de l'arrière-plage, des zones dunaires et des plaines supratidales de la côte (Benton & Harper, 1997).

- **Ichnofaciès à Skolithos** : C'est des traces laissées par les mouvements de creusement de galeries et de siphons par les crustacés benthiques dans le substrat sédimentaire. Ce terme est souvent associé aux traceurs du genre Skolithos, mais peut inclure d'autres formes similaires. Ce concept a été décrit pour la première fois par le paléontologiste allemand Ernst Haeckel en 1866. "Skolithos est le plus ancien et le plus fréquent des formes de vie dans les sédiments primaires des continents et des fonds marins." En fait, l'ichnofaciès à Skolithos est considéré comme un indicateur de conditions environnementales précises, telles que la température, la salinité et la circulation des eaux, ainsi que de la dynamique des fonds marins. Il est donc très important pour la compréhension des processus sédimentaires et écologiques passés. Il représente généralement un milieu à énergie modérée à relativement élevée, caractérisé par des traces d'habitat (domichnia) qui sont verticales, cylindriques et/ou sous forme de U, ainsi que par des traces de fuite (fugichnia).

- **Ichnofaciès à Cruziana** : Est un type de trace fossile qui se caractérise par une série de rainures et de crêtes parallèles créées par le mouvement d'un organisme à travers un substrat. Ce type de trace fossile se trouve généralement dans les roches sédimentaires dans des substrats infralittoraux à ciralittoraux peu profonds à énergie modérée à faible, caractérisé par des traces de locomotion (repichnia) variées, épi- et endo-géniques, des traces d'habitat, des traces de nutrition (fodinichnia) variées et des traces de repos (cubichnia) communes. Les auteurs pensent qu'il aurait été créé par le mouvement d'un trilobite dans une zone particulière. Les rainures et les crêtes créées par le trilobite sont connues sous le nom d'ichnofaciès à Cruziana. L'étude de cet ichnofaciès intéresse, depuis, de nombreuses années les paléontologues. En fait, la première description de ce type de fossile de trace a été faite par le paléontologue français Louis Agassiz en 1841. Depuis lors, de nombreux autres paléontologues ont étudié les ichnofaciès de Cruziana

et les ont utilisés pour identifier la présence de trilobites à divers endroits. Cet ichnofaciès peut également être utilisé pour étudier le comportement des trilobites. Par exemple, la taille et la forme des rainures et des crêtes peuvent donner un aperçu de la vitesse et de la direction du mouvement du trilobite. Il peut également fournir des informations sur l'environnement dans lequel vivait le trilobite (Miller, 2005). Grâce à l'étude des ichnofaciès à Cruziana, les paléontologues peuvent acquérir une meilleure compréhension du comportement et de l'écologie des trilobites, ce qui peut nous aider à mieux comprendre l'évolution de ces créatures anciennes.

-Ichnofaciès à Zoophycos : est un type de trace fossile que l'on trouve dans les roches sédimentaires. Il se caractérise par une série de petits terriers courbés, sinueux et parfois ramifiés. Le terme "Ichnofaciès à Zoophycos" a été inventé pour la première fois par le paléontologue français Louis Agassiz en 1837. Depuis cette description initiale, l'Ichnofaciès à Zoophycos a été étudié par de nombreux autres paléontologues. Dans son livre "Trace Fossils: Their History and Significance", le paléontologue William Miller déclare que "Ichnofaciès à Zoophycos est l'une des traces fossiles les plus courantes trouvées dans les roches sédimentaires". Il explique que ces traces fossiles se trouvent généralement dans des environnements marins peu profonds. Il est généralement rempli de sédiments caractéristique de la pente continentale. D'autres paléontologues ont également étudié cet ichnofaciès comme David Raup dans son livre "Trace Fossils : Their History and Significance". Dans l'ensemble, cet ichnofaciès est un important type de trace fossile qui fournit d'importantes informations sur le comportement et l'écologie des organismes anciens. Il renferme des traces de nutrition simples ou complexes. Une faible ichnodiversité indique une pauvre oxygénation. Ces traces de fossiles ont été créées par des animaux tels que des vers, des crustacés et des mollusques qui ont creusé dans les sédiments à la recherche de nourriture.

-Ichnofaciès à Nereites : Est un type de trace fossile que l'on trouve dans les roches sédimentaires marines et dans des environnements bathyal à abyssal où les eaux sont oxygénées et les dépôts sont turbiditiques et épisodiques. Il est dominé par des traces de pacages (pascichnia) et de culture (agricchnia) surtout des graphoglyptidés dans les turbidites distales. Les turbidites proximales contiennent des traces d'habitat verticales, cylindriques ou sous forme de U. Les séquences pélagiques et hémipélagiques contenant des dépôts inter-turbiditiques sont dominées par des traces de nutrition et de locomotion. Cet ichnofaciès est subdivisé en trois ichnosubfaciès ; *Ophiomorpha rudis*, *Paleodictyon* et *Nereites*. Il se caractérise par une série de petites lignes courbes et parallèles qui sont généralement disposées en éventail. Ces traces ont été créées par les activités de fousseurs Néréites ; une espèce éteinte d'organismes ressemblant à des vers. La présence d'Ichnofaciès à Nereites dans les roches sédimentaires témoigne de la présence de Nereites dans le milieu marin ancien. Cette trace fossile est importante pour comprendre l'écologie de l'environnement marin ancien et l'évolution des Néréites. La première description scientifique d'Ichnofaciès à Nereites a été faite par Louis Agassiz en 1841 suivi par de nombreux autres paléontologues (exemple : Ernst Haeckel (1877), Edward Drinker Cope (1891)).

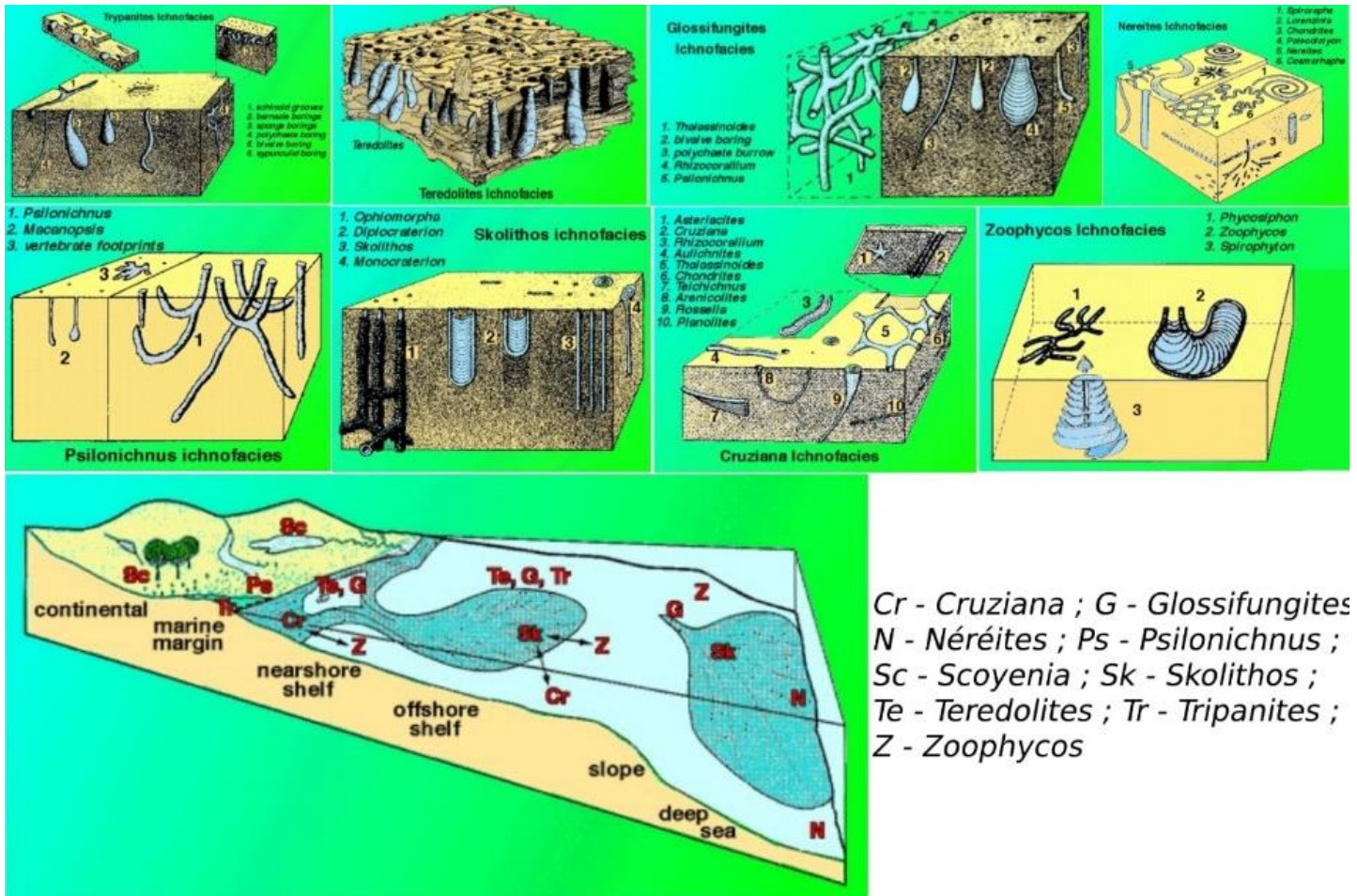


Fig. 14. La position typique des principaux ichnofaciès dans les environnements marins et continentaux (d'après Benton & Harper, 1997).

4.5 Relation entre les types des substrats et les ichnofaciès

La relation entre les types de substrats et les ichnofaciès est primordiale dans la compréhension de l'évolution des organismes et leur environnement. Les substrats sont les matériaux utilisés par les organismes dans la production de leurs structures. Les organismes ayant vécu dans des substrats meubles peuvent produire des ichnofaciès plus petits et plus complexes que ceux qui ont vécu dans des substrats plus durs qui sont plus simples. Les types de substrats peuvent avoir un impact significatif sur la forme et la taille des ichnofaciès, ainsi que sur la diversité des ichnofaciès. Selon Bromley (1996). On y distingue.

Tableau 4 : relation entre les types de substrats et les ichnofaciès

Ichnofaciès	Ichnogenres communs	Substrat	Description du substrat	Energie	Bathymétrie
<i>Trypanites</i>	<i>Entobia, Trypanites, Gastrochaenolites, Caulostrepsis, Maeandropolydora, Conchotrema</i>	Hardground / Rockground Coquille, os...	Substrats durs et durcis	Moyen	Falaises côtières, récifs, beachrock
<i>Teredolites</i>	<i>Térédolites, Thalassinoïdes</i>	Terrain boisé	Substrats ligneux et charbonneux résistants	Moyen	Bois flotté, tourbe
<i>Glossifungites</i>	<i>Diplocraterion, Skolithos, Spongiomorpha, Rhizocorallium, Arenicolites, Thalassinoides, Fuersichnus</i>	Firmground Marine	Terre ferme, boues déshydratées.	Moyen	Surfaces d'érosion marines, deltaïques ou estuariennes peu profondes, marginales
<i>Psilonichnus</i>	<i>Psilonichnus, Coenobichnus, Cellicalichnus, Macanopsis</i>	Loose- and softground Marine	Granulométrie très variable, sable, substrat mou	-	Îles-barrières côtières, plaines côtières, plaines delta, estuaires, lagons et baies.
<i>Skolithos</i>	<i>Skolithos, Ophiomorpha, Arenicolites, Diplocraterion</i>	Loose- and softground Marine	Sables littoraux meubles	Elevé	Plages et vasières sablonneuses, eaux peu profondes, de l'estran à l'avant-côte, au-dessus de la base des vagues
<i>Cruziana</i>	<i>Arthropycus, Phycodes, Rhizocorallium, Teichichnus, Arenicolites, Rosselia, Bergaueria, Thalassinoides, Lockeia, Protovirgularia, Curvolithus, Dimorphichnus, Cruziana, Rusophycus</i>	Loose- and softground Marine	Successions hétérolithiques de sable et de limon et détritiques organiques	Moyen	Plateaux continentaux moyens à distaux. Sous la base normale des vagues, mais pas nécessairement sous la base des vagues de tempête
<i>Zoophycos</i>	<i>Zoophycos, Phycosiphon, Chondrites</i>	Loose- and softground Marine	Terres molles marines, sables et limons impurs	Faible	Eaux plus profondes, bas du plateau ; faciès turbidite
<i>Nereites</i>	<i>Nereites, Megagraption, Protopaleodictyon, Spirophycus, Helminthoraphe, Glockerichnus, Spiroraphe, Cosmoraphe, Urohelminthoïda, Desmograption, Paleodictyon, Scolicia</i>	Loose- and softground Marine	Boues et argiles à grains fins intercalées avec des limons turbiditiques	Elevé	Systèmes de turbidité en eaux profondes, pélagiques, bas de pente

4.6 Ichnocoenoses et Ichnofabriques

Une ichnocénose (pluriel = Ichnocoenoses) est un assemblage écologique de traces fossiles qui sont l'œuvre d'une seule communauté d'organismes traceurs (Bromley, 1996). Une ichnocénose est une unité hiérarchique de niveau inférieur par rapport à un ichnofaciès, mais elle est plus utile pour comprendre les facteurs physico-chimiques qui ont contrôlé la distribution et l'abondance des fossiles-traces en question. Les ichnocoenoses des environnements continentaux semblent être beaucoup plus utiles que les ichnofacies pour interpréter et comprendre l'hétérogénéité spatiale et temporelle des environnements terrestres et aquatiques.

4.7 Les Ichnocénoses du faciès à Trypanites

L'ichnofaciès à *Trypanites* a été proposé par Frey et Seilacher (1980) pour caractériser les assemblages de perforations dans les sols durs, des récifs, des rivages rocheux et des surfaces d'omission (c'est-à-dire des substrats marins lithifiés). Il faut noter que Bromley et Asgaard (1993b) ont remplacé l'ichnofaciès Trypanites par deux ichnosubfaciès (subichnofaciès) ou ichnocénose (Fig.15) :

4.7.1 Ichnosubfaciès à Gnathichnus :

Bioérosion sur clastes et squelettes il est caractérisé par la présence de structures de pâturage (Pascichnia) et l'absence (ou la rareté) des perforations en profondeur se produit typiquement dans des conditions d'exposition sous-marine à court terme des sols coquilliers (et plus rarement des sols durs). Dans des contextes d'énergie modérée.

4.7.2 Ichnosubfaciès à Entobia :

Bioérosion qui est dominé par des perforations d'habitation (Domichnia) atteignant généralement une plus grande profondeur dans le substrat, et qui caractérise la bioérosion à long terme dans des contextes à haute énergie.

Il est préférable d'utiliser uniquement le terme *Trypanites* pour parler des ichnofaciès. En contrepartie, les expressions *Gnathichnus* et *Entobia* pourront être réservées pour distinguer des ichnocénoses.

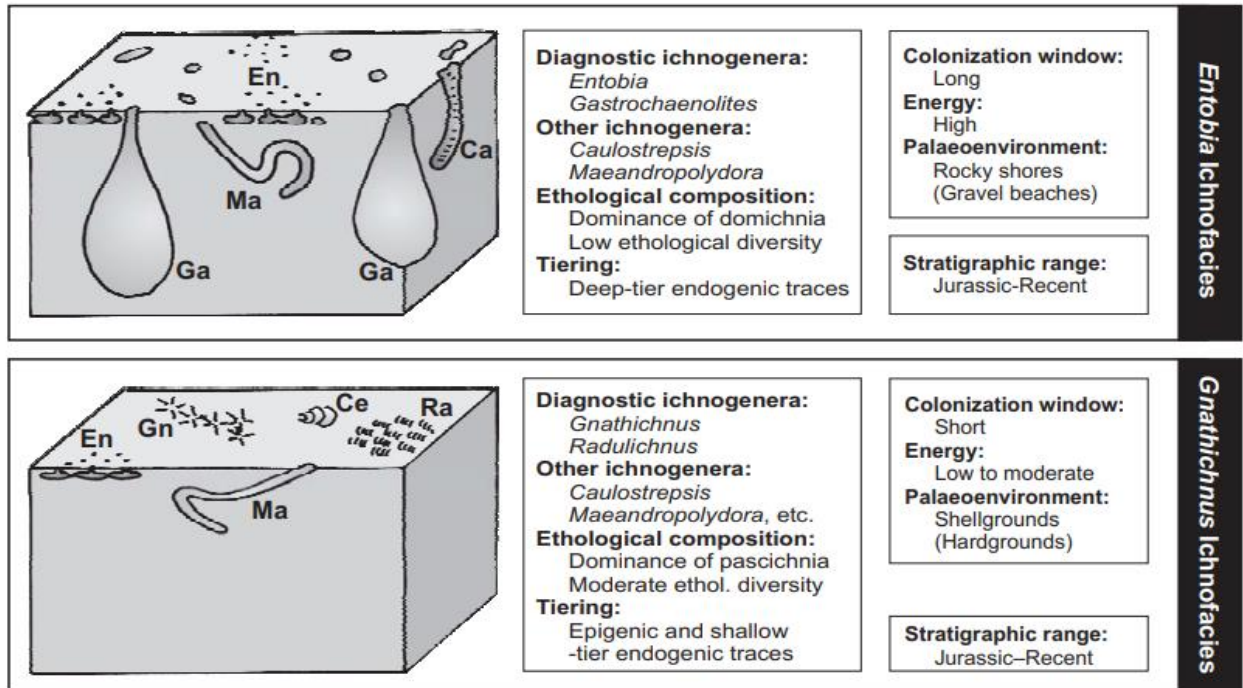


Fig 15. Résumé des attributs des ichnofaciès *Entobia* et *Gnathichnus*. Abréviations : Ca, *Caulostrepsis* ; Ce, *Centrichnus* ; En, *Entobia* ; Ga, *Gastrochaenolites* ; Gn, *Gnathichnus* ; Ma, *Maeandropolydora* ; Ra, *Radulichnus*. (Jordi M. De Gibert & al 2007)

4.8 Conclusion

L'ichnologie, s'est révélée être un outil précieux pour comprendre l'histoire de la Terre. Selon Rodríguez-Tovar et Hernández-Molina dans leur article publié en 2018 dans Earth-Science Reviews, c'est un élément clé du dossier géologique, car elle peut aider à donner un aperçu de l'évolution de la vie sur Terre. Elle est également capable de fournir des informations sur l'environnement dans lequel les traces fossiles ont été créées, telles que les terriers, les pistes et les traces qui peuvent indiquer la présence d'organismes qui sont étudiés pour comprendre leur comportement, leur physiologie et leurs interactions avec leurs écosystèmes. En outre, l'ichnologie a été utilisée pour comprendre les changements paléontologiques, paléoécologiques et paléogéographiques survenus au fil du temps. En examinant les traces de fossiles, les chercheurs peuvent mieux comprendre les conditions environnementales d'une région spécifique dans le passé, ce qui aide à comprendre l'évolution de cette région et son histoire biologique et géologique. Dans l'ensemble, l'ichnologie est un outil précieux pour comprendre l'histoire de la Terre, car elle permet de mieux comprendre l'évolution de la vie, le comportement des organismes et les conditions environnementales d'une région spécifique dans le passé.

CHAPITRE IV

RESULTATS

5 CHAPITRE IV : RESULTATS

5.1 Introduction

Rares sont les travaux ichnologiques dans les monts de Bellezma et des Aurès (Salmi-Laouar et al. 2019). Dans cette optique et afin d'appréhender cette thématique et de chercher les traces produites par les organismes et tous les aspects liés à la bioturbation et la bioérosion ce présent travail est proposé. Il est considéré comme une nouvelle contribution réalisée sur le Cénomaniens aux alentours de Batna, en particulier dans les massifs de **Mettrassi, Hamla Theniet El Menchar et Djebel Bou Arif**. Il vise les objectifs suivants :

- Faire l'inventaire du patrimoine Ichnologique ;
- Déterminer les différentes ichnotaxons ;
- Décrire leurs structures ;
- Etablir une liste systématique originale et détaillée

5.2 Liste des ichnotaxons

L'étude ichnologique s'est focalisée sur diverses communautés de sclérobiontes et a permis de recenser la présence d'une vingtaine d'ichnoespèces (Tableau 1), dont quinze traces de bioérosion (*Entobia isp.*, *Gastrochaenolites isp.*, *Maeandropolydora isp.*, *Trypanites isp.*, *Caulostrepsis isp.*, *Rogerella isp.*, *Talpina isp.*, *Oichnus isp.*, *Nihilichnus nihilicus*, *Spirolites cf. radwanskii*) et cinq traces d'Epibiontes (polychètes sabellides tubicoles, *Glomerula serpentina*, des coquilles d'huîtres juvéniles). *Spirolites* et *Nihilichnus* sont signalés pour la première fois en Algérie ; à Djebel Bouarif.

Tableau 5 : Liste des ichnotaxons

Bioérosion	Epibiontes
<i>Entobia</i> isp	polychètes sabellides tubicoles
<i>Gastrochaenolites</i> isp	<i>Glomerula serpentina</i>
<i>Maeandropolydora</i> isp	coquilles d'huîtres juvéniles
<i>Trypanites</i> isp	
<i>Caulostrepsis</i> isp	
<i>Rogerella</i> isp	
<i>Talpina</i> isp	
<i>Oichnus</i> isp	
<i>Nihilichnus nihilicus</i>	
<i>Spirolites</i> cf. <i>radwanskii</i>	

5.3 DISTRIBUTION DES COMMUNAUTES DE SCLEROBIONS SUR LES MACROSINVERTEBRES DU CENOMANIEN DE BATNA

Des sclérobiontes ont été trouvés sur des coraux, des gastéropodes et des bivalves des strates du Cénomanién de la zone d'étude (Tableau 1). Stratigraphiquement, les traces de bioérosions sont plus abondantes dans le niveau du Cénomanién moyen. Les spécimens les plus bioérodés de l'assemblage sont des coraux (*Montlivaltia* sp. et *Aspidiscus cristatus*). Les spécimens de *Montlivaltia* ont tous de multiples *Gastrochaenolites* et quelques traces de *Maeandropolydora*. Les sclérobiontes sur *Aspidiscus cristatus* surtout sur la surface inférieure, sont plus diversifiés, étant représentés par des *Gastrochaenolites*, *Maeandropolydora*, *Entobia*, *Rogerella* et des huîtres juvéniles, des bivalves (*Pseudolimea* ? *granulata*) et des polychètes (*Glomerula serpentina*). Un seul spécimen de *Spirolites* et *Caulostrepsis* ont été trouvés dans le gastéropode *Tylostoma pallaryi* ainsi que de nombreuses ouvertures d'*Entobia*. Les huîtres

montrent principalement des *Gastrochaenolites*, un *Nihilichnus* a été reconnu dans *Rhynchostreon suborbiculatum*. En outre, *Maeandropolydora*, *Entobia* et *Oichinus* ont été trouvés dans les coquilles gauche et droite des bivalves non huîtres *Tenea delectrei*, *Cucullaea (Idonearca) trigona* et *Granocardium productum*. Les huîtres sont principalement représentées par des huîtres juvéniles trouvées sur la surface interne de grandes coquilles exogyres et sur la surface inférieure du corail *Aspidiscus cristatus*.

Tableau 6 : Distribution des communautés de sclérobions sur les macrosinvertébrés du Cénoomanien de Batna

		age	Bioérosion								épibiontes				
			<i>Entobia</i>	<i>Gastrochaenolites</i>	<i>Maeandropolydora</i>	<i>Nihilichnus</i>	<i>Rogerella</i>	<i>Spirolites</i>	<i>Oichnus</i>	<i>Tapina</i>	<i>Caulostrepis Trypanites</i>	<i>Trypanites</i>	polychaetes	juvenile oysters	bivalves non huîtres
macrofauna	corail <i>Aspidiscus cristatus</i>	Moyen	+	+++	+		+		+			+	+	+	
	corail <i>Montlivaltia</i> sp.	Moyen		+++	+					+					
	huîtres <i>Costagyr</i> <i>olisiponensis</i> ; <i>Rhynchostreon</i> <i>suborbiculatum</i> ; <i>Exogyra</i>	Supérieur sommital												+	
		Supérieur		+		+				+				+	
	autres bivalves <i>Tenea</i> <i>delectrei</i> ; <i>Cucullaea</i> <i>(Idonearca) trigona</i> ; <i>Granocardium productum</i>	Inferieur		+											
		Moyen	+		+										
	gastéropodes <i>Cimolithium</i> <i>tenouklense</i> ; <i>Nerinea</i> <i>texana</i> ; <i>Tylostoma pallaryi</i>	Inferieur			+					+					
		Supérieur sommital	+												+
	échinodermes <i>Mecaster</i> sp.	Supérieur	+												
Moyen		+					+								
	échinodermes <i>Mecaster</i> sp.	Supérieur sommital								+	+	+			

5.4 Les différentes structures de bioerosion

Les structures identifiées dans nos échantillons révèlent trois types d'activités : Domichnia, Praedichnia et fodinichnia. Parmi les échantillons récoltés, un pourcentage élevé de coquilles

sont touchés par l'activité Domichnia (50%), tandis que le reste s'agit de l'activité fodinichnia (30%) et Praedichnia (20%).

Tableau 7 : Les différentes structures de bioérosion

<i>Ichnogenres</i>	<i>Organisme foreurs</i>	<i>Types de perforations</i>	<i>Descriptions</i>
<i>Maeandropolydora isp.</i>	Polychaete	Domichnia	Chambres et galeries, refuges pour l'animal.
<i>Entobia isp.</i>	Éponge clionide	Domichnia	Chambres et galeries, refuges pour l'animal.
<i>Gastrochaenolites isp</i>	Bivalve	Domichnia	Chambres et galeries, refuges pour l'animal.
<i>Caulostrepsis</i>	Ver annélide	Domichnia	Crêtes courbes, qui se chevauchent, forme un motif spirale
<i>Oichnus isp.</i>	Gastéropodes et céphalopodes carnivores	Praedichnia fodinichnia	Galerie d'habitation et de Prédation
<i>Trypanites sp</i>	Spinculidés	Domichnia et fodinichnia	Galerie d'habitation et de nutrition d'organismes filtreur.
<i>Roguerella sp</i>	Balanes acrothoraciennes	Domichnia	Slithollows, organismes filtrants vivant dans des habitations.
<i>Nihilichnus</i>	Gastéropode vermétide	Domichnia et fixichnia	Couloir ou Chambre en spirale, maison ou habitation pour l'organisme
Spirolites	Gastéropode vermétide	Domichnia et/ou fixichnia	Couloir/chambre hélicoïdal, logement ou alésage de gravure
<i>Talpina</i>	Insectes, myriapodes, vers	Domichnia	Chambres et galeries, refuges pour l'animal.

Compte tenu de la liste des ichnotaxa identifiés et sur notre matériel mollusque, les bioérodeurs les plus courants pour les coquilles de gastéropodes, échinodermes et cnidaires (*l'Aspidiscus cristatus*), sont sporifères, annélides et bryozoaires (*Entobia, Maeandropolydora*). Par contre,

pour les coquilles bivalves où *Oichnus* et *Gastrochaenolites* sont les structures les plus fréquentes, les gastéropodes carnivores sont probablement les principaux tracemakers.

5.5 Les ichnofacies

La détermination de l'ichnofaciès est basée principalement sur des assemblages récurrents de traces fossiles. L'ichnofaciès décrit dans les présents dépôts du Cénomaniens de la région de Batna constitue un exemple exceptionnel est celui de l'ichnofacies Trypanites. Il comprend une ichnocénose formé de (*Gastrochaenolites*, *Entobia*, *Trypanites*, *Rogerella*, *Maeandropolydora*, *Oichnus*, *Nihilichnus*, *Spirolites*, *Talpina* et *Caulostrepsis*) comprend des suites de traces fossiles qui occupent des sols durs ou des substrats entièrement lithifiés. Les organismes qui excavent les traces incluses dans cet ichnofaciès sont adaptés pour pénétrer les substrats rocheux, soit par dissolution chimique, soit par abrasion mécanique. De plus, les occurrences de l'ichnofaciès Trypanites sont généralement interprétées comme des enregistrements de substrats de sol dur privés de sédiments et sont préservés comme une seule surface forée. La plupart des traces fossiles incluses dans l'ichnofaciès Trypanites sont des domichnia et Fodinichnia (MacEachern et al. 2010 ; Buatois et Mangano, 2011 ; Gibert et al. 2012).

La diversité des traces fossiles est généralement modérée à faible, avec une abondance élevée. La diversité biotique est difficile à évaluer en raison du faible potentiel de préservation des organismes dans l'environnement érosif à haute énergie associé à l'ichnofaciès Trypanites.

5.6 SYSTEMATIQUE

5.6.1 BIOEROSION

5.6.1.1 Ichnogenre : *Entobia* Bronn, 1837

L'ichnogenre *Entobia*. Désigne des réseaux de courtes galeries plus ou moins ramifiés qui semblent spécialement marquer des carbonates Marins Céno-Mésozoïque, produit par des éponges dites perforateurs appartenant à la famille des Clionidae.

La morphologie de *l'Entobia* est fonction de la croissance de l'éponge perforatrice, qui varie continuellement pendant l'ontogenèse. Ou cinq phases de croissance des éponges sont distinguer depuis sa conception jusqu'à sa maturation (définies par Bromley et D'Alessandro., 1984 phases de croissance A-E) d'après la morphologie des chambres.

Phase de croissance A : c'est la phase de la pénétration initiale du substrat (coquille, squelette, test) par les éponges juvéniles (jeune), pour produire des canaux d'exploration minces et de trajectoire linéaires, qui dériver du point d'entrée.

Phase de croissance B : Avec l'augmentation du diamètre de l'éponge perforateur par croissance latérale. Les formes camérées commencent à gonfler pour développer des chambres, tandis que les formes non camérées prennent une forme.

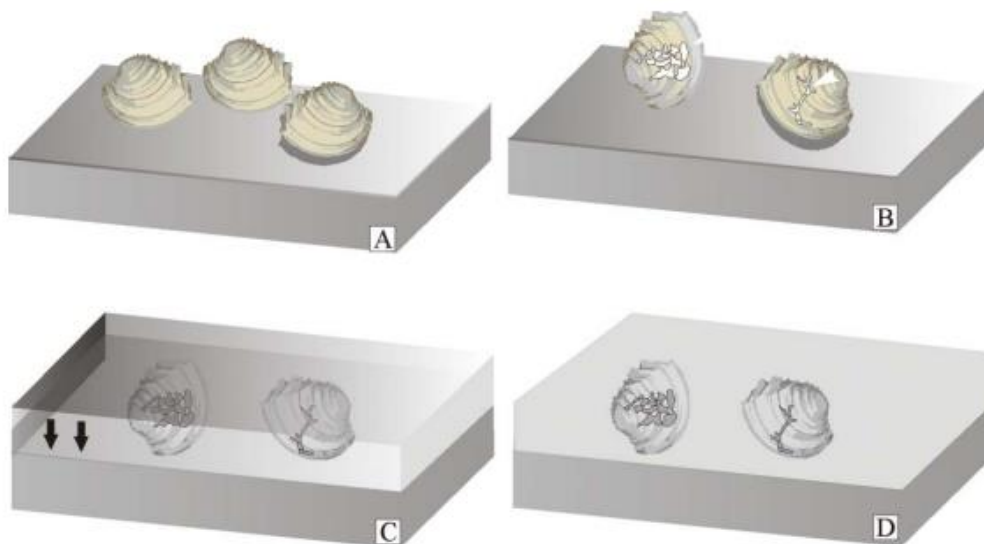


Fig 16. Schéma décrivant le processus de formation des moulages naturels d'*Entobia*. A. Coquilles de bivalves morts sur le fond marin. B. Perçage d'éponges sur les coquilles mortes. C. Enterrement des coquilles bivalves percées. D. Dissolution et exhumation des coquilles

bivalves exposant des moulages naturels d'éponges. (Shweta S Gurav Kantimati & Kulkarni Kantimati Kulkarni, 2017)

Entobia isp. Ou ispp. (Pl. 01 a.1 – d.2; Pl. 02 a.1 - e)

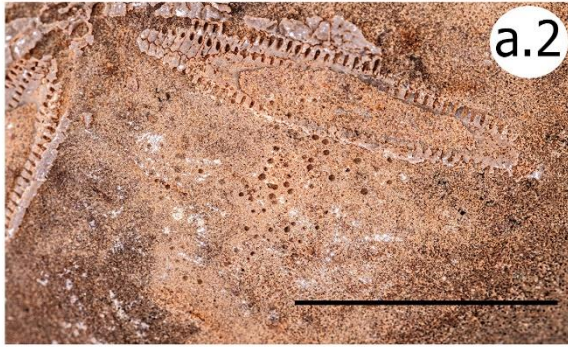
Matériel : des spécimens trouvés par moulage époxy d'un corail *Aspidiscus cristatus* et d'un gastéropode *Tylostoma pallaryi*, des ouvertures d'*Entobia* ont également été trouvée sur les coquilles des gastéropodes *Cimolithium tenouklense* et *Nerinea texana* ?, les bivalves *Tenea delectrei*, *Granocardium productum*, *Rhynchostreon suborbiculatum* et sur l'échinoderme *Mecaster sp* et *Hemiaster gabrielis*.

Description : Trois chambres interconnectées/interjointes maintenues hermétiquement (environ 0,05 mm) sous la surface du substrat, aucune galerie de connexion n'est développée. Les trois chambres sont presque sphériques (précision géométrique décroissante de droite à gauche), avec un diamètre (dans la figure 3 de droite à gauche) de 0,65 mm, 0,7 et 0,75 mm. Cependant, la longueur de l'ichnofossile entier n'est pas la somme des diamètres des cavités mais est raccourcie par les parties des chambres qui se chevauchent ; elle est alors de 1,73 mm. La surface des chambres est uniformément granulée. La seule galerie de l'individu, qui est un élément important de la morphologie. La seule galerie sur l'individu, qui est un élément important de la morphologie pour déterminer l'ensemble de la structure comme *Entobia*, a une longueur de 0,05 mm et un diamètre de 0,07 mm.

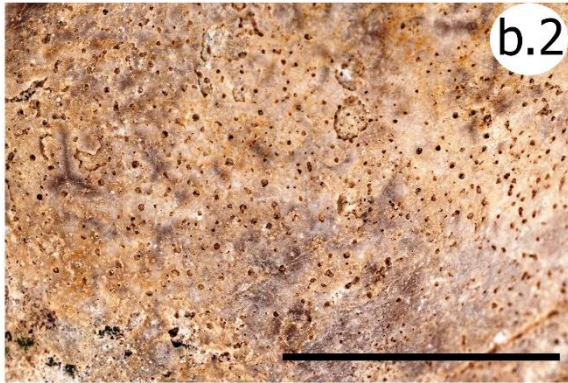
Remarques : L'ichnotaxonomie des *Entobia* est très exigeante et sa pertinence dépend de la quantité de matériel obtenu. Les ichnoespèces, qui se diversifient rapidement au cours du Cénozoïque, présentent généralement cinq phases de croissance (A à E, selon Bromley et D'Alessandro, 1983, 1984, 1987) au cours desquelles les formes cylindriques fines (fils explorateurs, puis galeries) sont progressivement remplacées par des chambres (sphériques,

irrégulières, tétraédriques, etc.). Dans la phase finale de croissance, toutes les chambres peuvent alors se transformer en un cylindre irrégulier (par exemple *Entobia volzi* Bromley et D'Alessandro 1984).

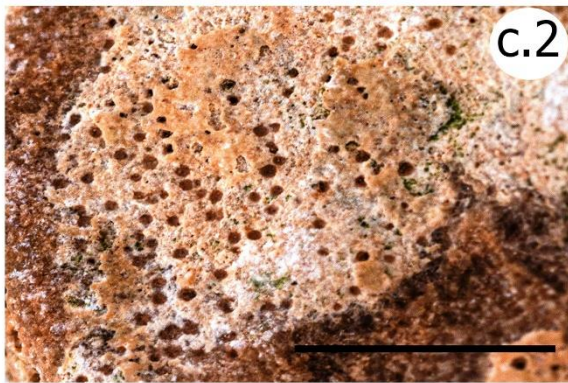
La phase de croissance de l'*Entobia* représentée est relativement avancée - probablement D dans la proposition de Bromley et D'Alessandro (1984). La taille n'étant utilisée en ichnologie que comme critère ichnotaxonomique auxiliaire (Bertling et al. 2006, 2022), il est possible de considérer plusieurs espèces possibles, à savoir *E. ovula* Bromley et D'Alessandro, 1984, *E. geometrica* Bromley et D'Alessandro, 1984, *E. cretacea* Portlock, 1843, *E. cateniformis* Bromley et D'Alessandro, 1984 et le microscopique *E. nana* Wisshak, 2008 (cf. Mikuláš et al. 2022).



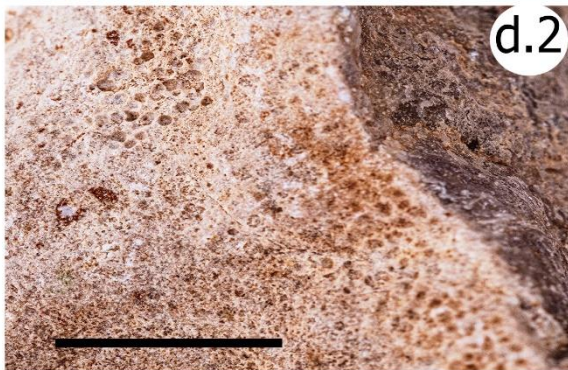
a.2



b.2



c.2



d.2



a.1



b.1



c.1



d.1

Planche 01

Barre d'échelle = 1cm

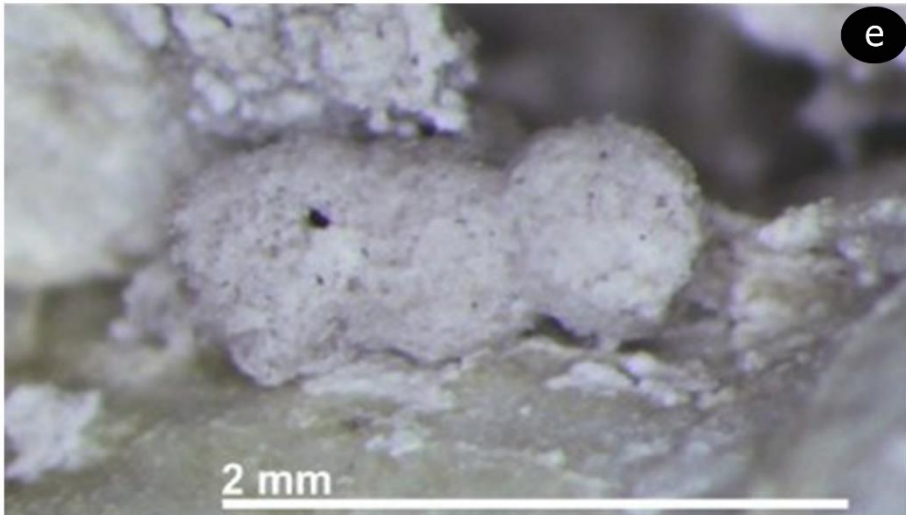
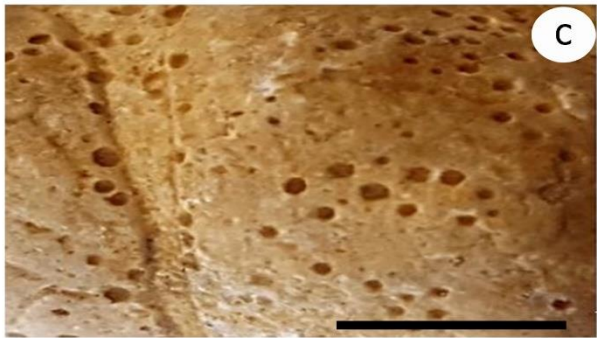
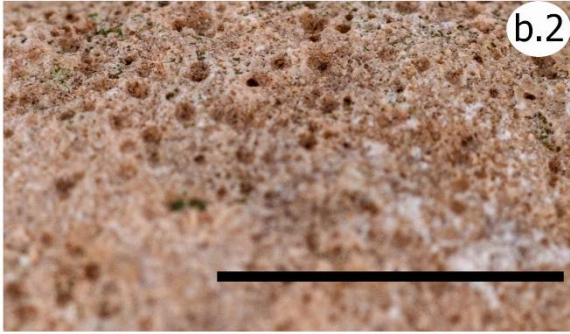
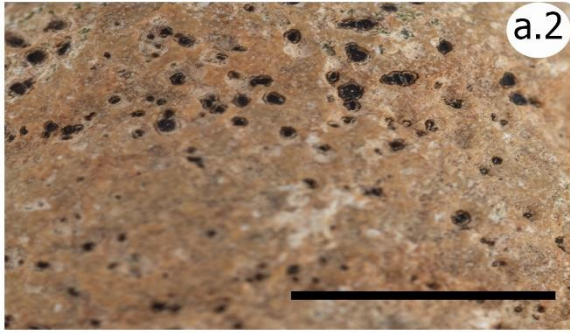


Planche 02

Barre d'échelle = 1cm

Planche 01 :

(a.1, a.2) *Entobia sp* sur l'échinoderme *Mecaster sp.*

(b.1, b.2) *Entobia sp* sur *Rhynchostreon suborbiculatum.*

(c.1, c.2) *Entobia sp* sur le gastéropode *Cimolithium tenouklense.*

(d.1, d.2) *Entobia sp* sur le gastéropode *Nerinea texana ?.*

Planche 02 :

(a.1, a.2) *Entobia sp* sur *Rhynchostreon suborbiculatum.*

(b.1, b.2) *Entobia sp* sur le bivalves *Tenea Delettrei.*

(c) *Entobia sp* sur d'un gastéropode *Tylostoma pallaryi.*

(d) *Entobia sp* sur l'échinoderme *Hemiaster gabrielis.*

(e) moulage époxy montrant *Entobia sp*, sur un corail *Aspidiscus cristatus.*

5.6.1.2 *Ichnogenre Gastrochaenolites Leymerie, 1842*

L'ichnogenre *Gastrochaenolites* a été signalé et décrit par de nombreux auteurs dans des rocailles et des sols durs (par exemple Kelly et Bromley, 1984), mais aussi dans des sols fermes (Kelly et Bromley, 1984 ; Frey et Pemberton, 1984). Des traces de type *Gastrochaenolites* peuvent être trouvées dans des substrats propices à la bioérosion (par exemple des calcaires micritiques ; des squelettes de coraux) ainsi que dans des boues ou des sables vaseux consolidés mais non lithifiés. *Gastrochaenolites* sont des traces en forme de massue dans les plus anciennes datent de l'Ordovicien. Elles sont l'œuvre des organismes (*Lithophaga* et *Gastrochaena*)

Gastrochaenolites isp. (Pl. 03 a.1 – f.3; Pl. 04 a.1 – b.4; Pl. 05 a.1 – e; Pl. 06 a – h)

Matériel : Des dizaines de perforations dans les coraux *Montlivaltia* et *Aspidiscus cristatus* et les bivalves (*Tenea delectrei*, *Cucullaea (Idonearca) trigona*).

Description : Trous clavés, généralement avec un fond de chambre hémisphérique. Des régions de col plus longues ne sont conservées que dans quelques spécimens ; dans le cas de IB, la région du col est fortement conique ; dans le spécimen de II E, l'orifice est en forme de collier (dans ce dernier cas, cependant, un creusement de la cavité ne peut être exclu). La taille des chambres est relativement petite. La profondeur (souvent manifestement incomplète en raison de la troncature) est de max. 6,0 mm ; la largeur maximale moyenne est de 0,6 à 5,5 mm (sans xénoglyphe).

Remarques : La plupart des *Gastrochaenolites* trouvés sont tronqués et donc difficiles à déterminer au niveau ichnospécifique. Néanmoins, il y a deux circonstances importantes et moins habituelles qui rendent le matériel prometteur pour une interprétation plus approfondie : 1 : de nombreux bivalves (probablement des traceurs) préservés in situ (ils sont représentés sur la planche 3 déterminables comme Mytilidae (Marred et al. 2022), et 2 : des xénoglyphes de taille et d'expressivité extrêmes. Dans ces cas, des barres strictement parallèles dérivées des

creux entre les septas coralliennes couvrent la majeure partie de la surface coulée des *Gastrochaenolites*, formant une forme rarement observée.

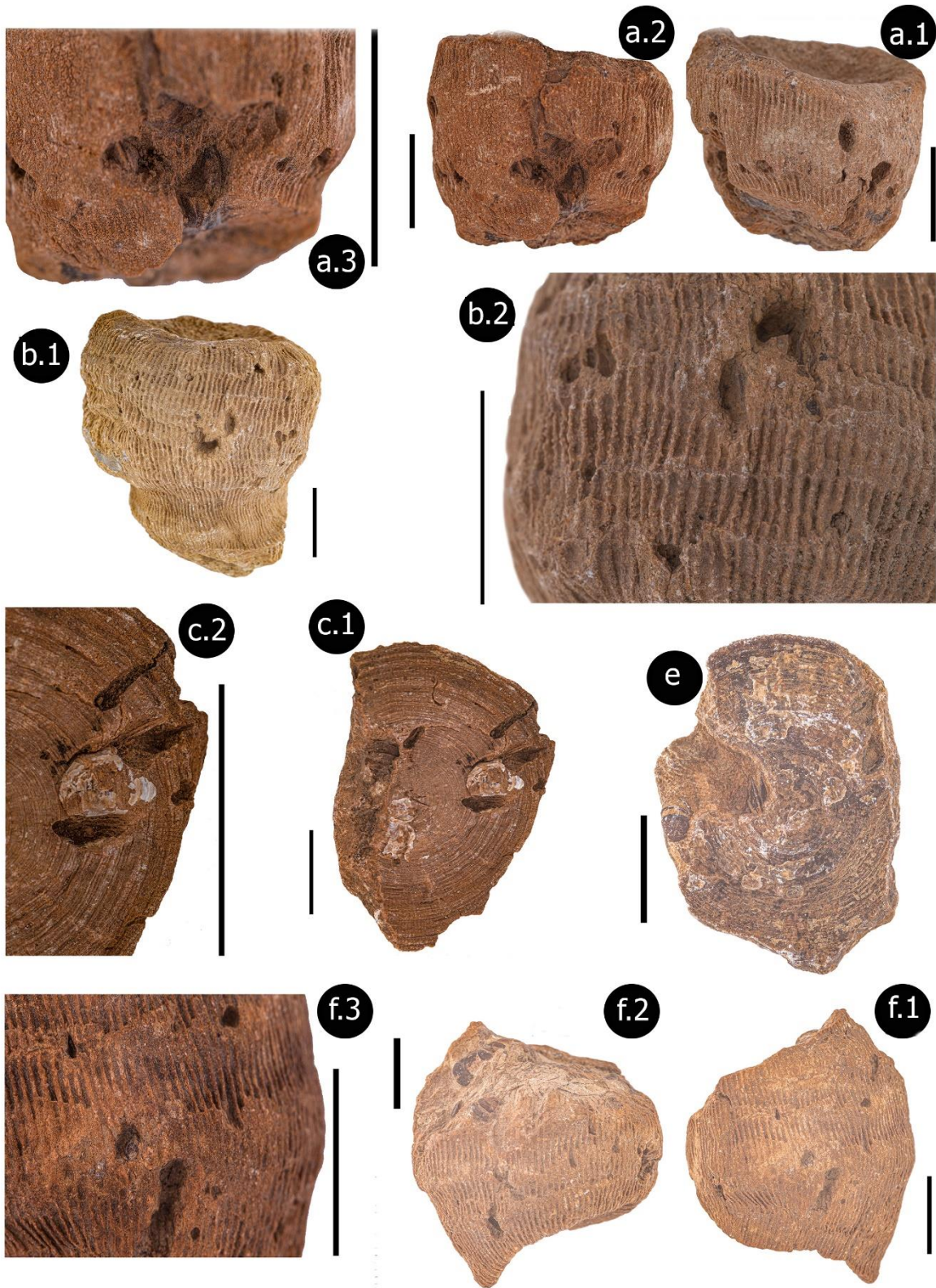


Planche 03

Barre d'échelle = 1cm



Planche 04

Barre d'échelle = 1cm

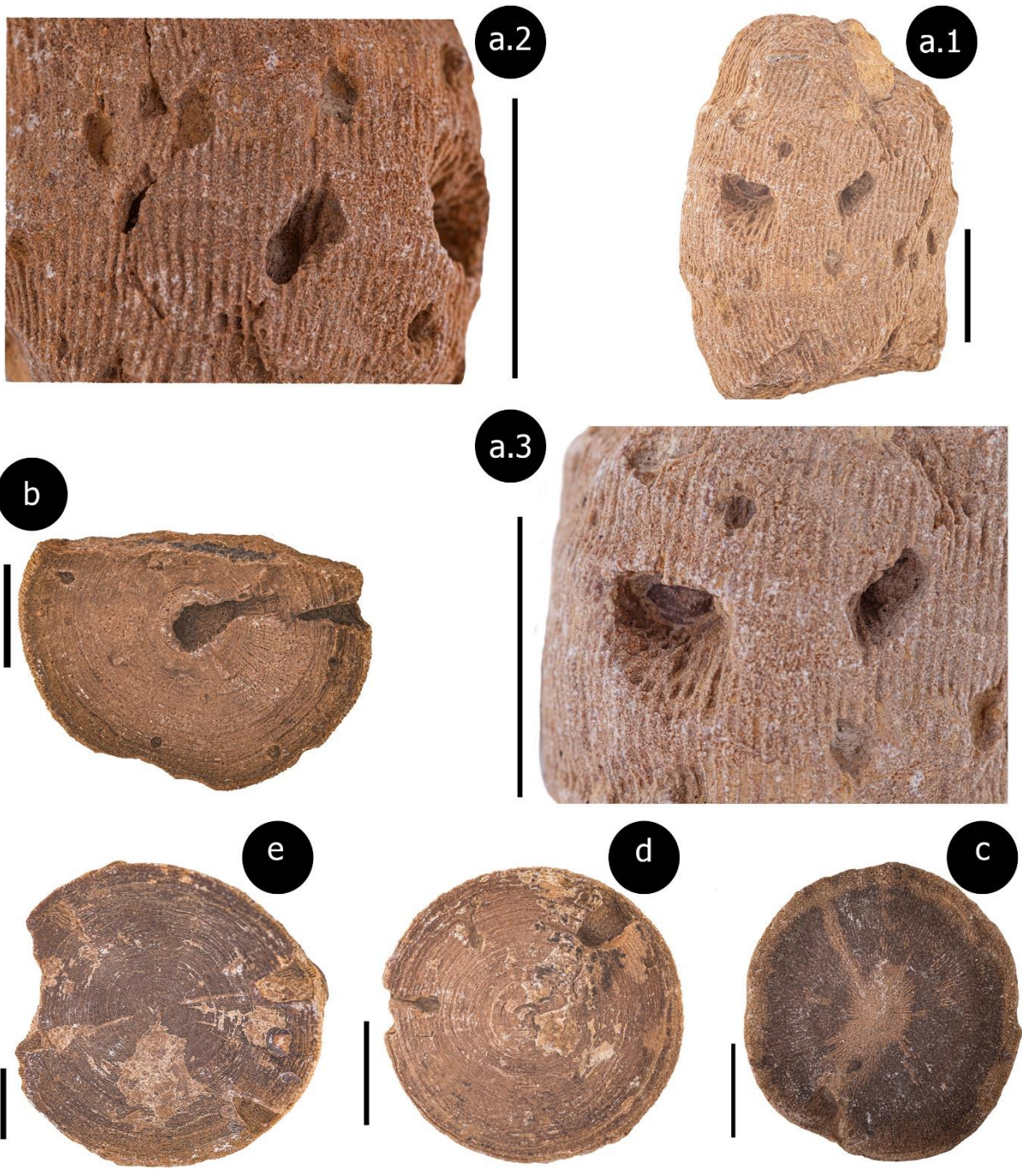


Planche 05

Barre d'échelle = 1cm

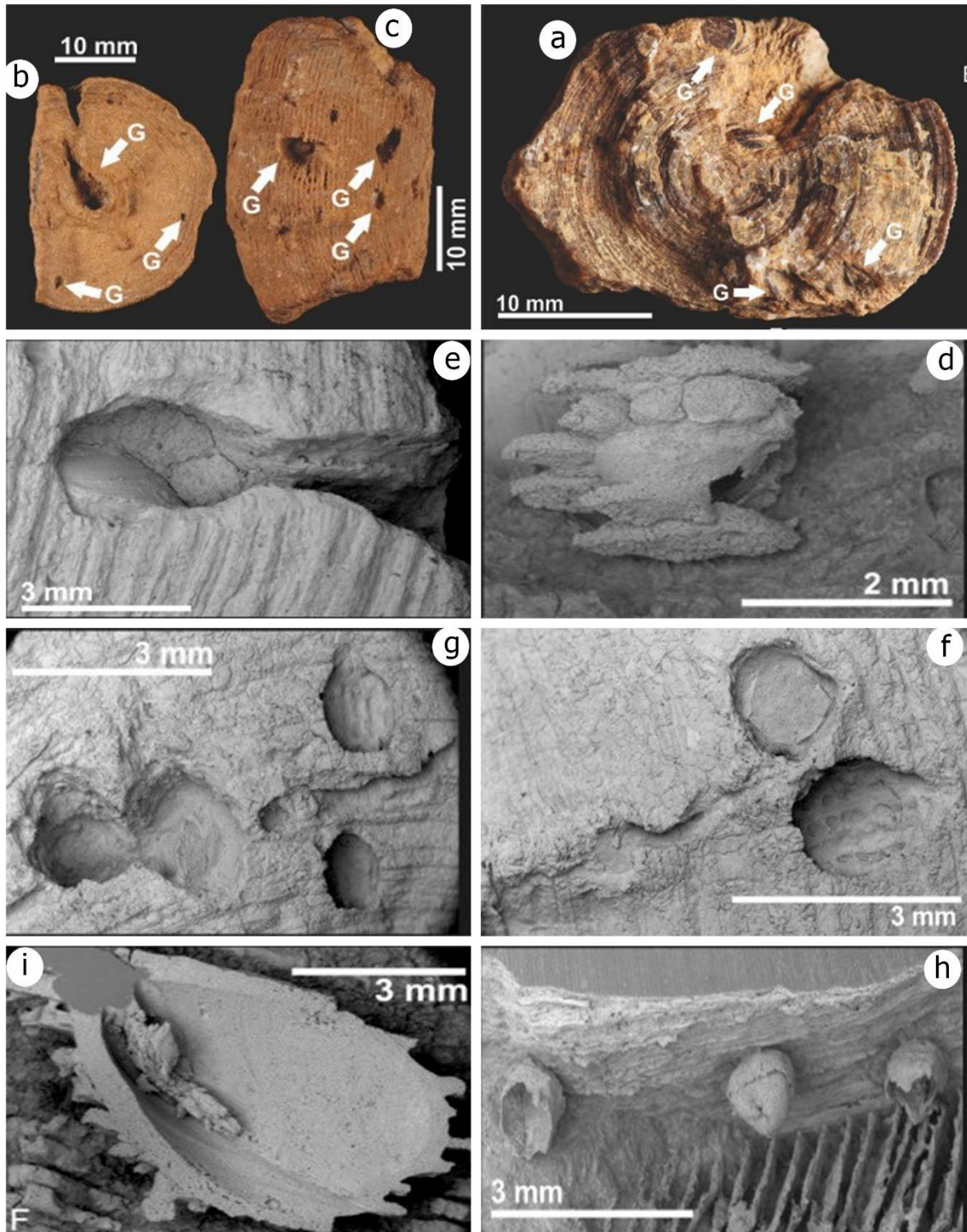


Planche 06

Planche 03 :

(a.1, a.2, a.3 ; f.1, f.2, f.3) *Gastrochaenolites isp* sur les coraux *Montlivaltia*.

(c.1, c.2 ; e) *Gastrochaenolites isp* sur *Aspidiscus cristatus*.

Planche 04 :

(a.1, a.2) *Gastrochaenolites isp* sur *Aspidiscus cristatus*.

(b.1, b.2 ; c.1, c.2) *Gastrochaenolites isp* sur les coraux *Montlivaltia*.

Planche 05 :

(a.1, a.2, a.3) *Gastrochaenolites isp* sur les coraux *Montlivaltia*.

(b, c, d, e) *Gastrochaenolites isp* sur *Aspidiscus cristatus*.

Planche 06 :

(a, b) *Aspidiscus cristatus* montrant plusieurs perforations de *Gastrochaenolites isp*.

(c) *Montlivaltia* avec plusieurs perforations de *Gastrochaenolites isp*.

(d, e, f, g, h, i) Observation de *Gastrochaenolites isp*. avec la microscopie électronique à balayage (MEB) sur l'*Aspidiscus cristatus et Montlivaltia*.

5.6.1.3 Ichnogendre : *Maeandropolydora* Voigt, 1965

Maeandropolydora correspond à de longues galeries cylindriques, avec deux ou plusieurs ouvertures, qui traversent le substrat de manière sinueuse ou en contorsions irrégulier. Il est interprété comme une structure d'habitation (domichnia), éventuellement l'œuvre des polychètes spionidés (Voigt, 1965). Connus pour être un bon indicateur de l'existence d'organismes à corps mou, lorsqu'ils n'ont pas pu se fossiliser.

L'ichnogendre en question est signalé dans le Crétacé (Voigt, 1965, Wilson, 1986), le Jurassique (Hoffmann et Krobicki, 1989), le Pléistocène (Bromley et D'Alessandro, 1987), le Coniacien moyen et le Cénomaniens (Hadeeny, 2007) et au Miocène (Arpad et al, 2006).

Maeandropolydora isp. (Pl. 07 a.1 – f)

Matériel : Seulement six spécimens sont identifiés sur les bivalve *Cucullaea (Idonearca) trigona* et *Rhynchostreon suborbiculatum*, sur le gastéropode *Tylostoma globosum*, sur l'huître *Exogyra conica* et sur *Aspidiscus cristatus*.

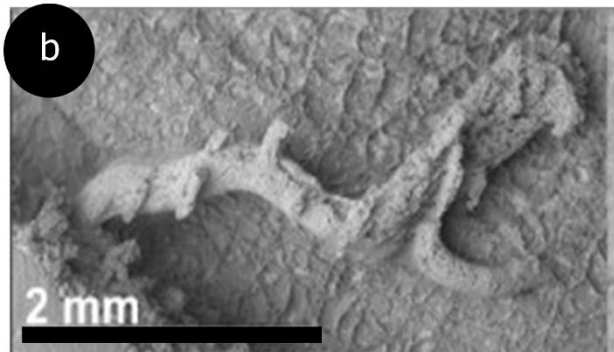
Description : Galeries cylindriques plutôt courtes et sinueuses conservées dans le corail *Aspidiscus cristatus* (spécimen couché ou surface inférieure), dans la surface latérale du corail *Montlivaltia* et dans les valves gauches de *Tenea delectrei*. La largeur des tunnels ou des rainures est constante dans chaque spécimen et varie entre 0,1 et 0,25 mm. Tous les individus ont au moins un tour serré (rotation d'environ 150° à 3 mm de longueur). Dans le spécimen de la figure 3A, cette torsion se transforme en une poche au sens de Bromley et D'Alessandro (1983).

Remarques : Pour les traceurs possibles de *Maeandropolydora*, voir Mikuláš et al. (2022). Un phénomène surprenant et unique chez *Maeandropolydora* est le xénoglyphe distinctif, représentant des cavités dans le corail (protrusions sur le moulage) dans la direction des cavités

entre les septas. La longueur de ces protubérances varie de 0,3 à 0,6 mm. Ces protubérances sont interprétées comme un xéno-glyphe car elles sont parallèles les unes aux autres, indépendamment de la forme irrégulière de la perforation.



a.2



a.3

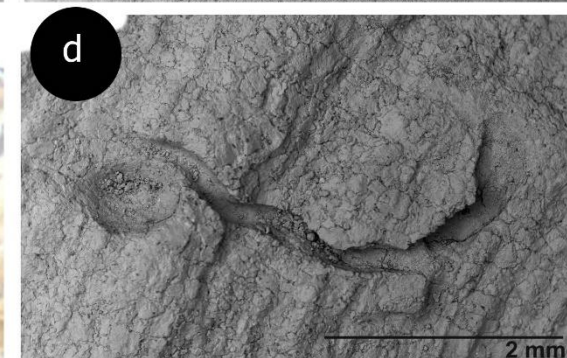
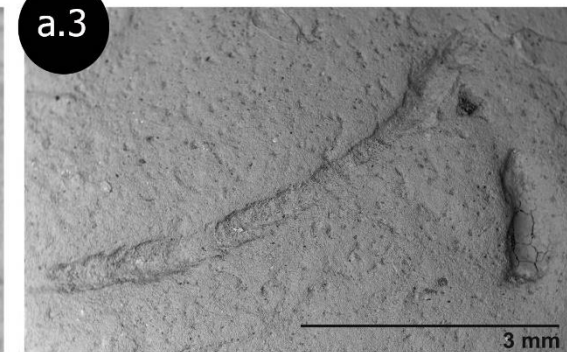


Planche 07

Barre d'échelle = 1cm

Planche 07 :

- (a.1, a.2, a.3) *Maeandropolydora isp.*, sur *Cucullaea (Idonearca) trigona*
- (b) *Maeandropolydora isp.* avec le microscopie électronique à balayage (MEB)
- (c) *Maeandropolydora isp.* sur *Exogyra conica*
- (d) *Maeandropolydora isp.* sur *Aspidiscus cristatus*.
- (e) *Rhynchostreon suborbiculatum* montrant *Maeandropolydora isp.*
- (f) *Tylostoma globosum* avec une trace de *Maeandropolydora isp.*

5.6.1.4 *Ichnogenre Caulostrepsis Clarke, 1908*

Perforations avec une entrée unique et présence d'une "poche" produite par la courbure en U de la galerie. En forme de U. Des structures plus complexes peuvent être produites par le développement de plusieurs lobes dans le même plan de base en forme de U. Les bords peuvent être clairement visibles sur leur longueur et reliés par une lame en forme de U, ou ils peuvent fusionner et produire une "poche" ovale ou aplatie. La forme de la section transversale varie de subcirculaire, ovale, aplatie, elliptique ou en forme de huit, à halteriforme (Bromley & D'Alessandro, 1983).

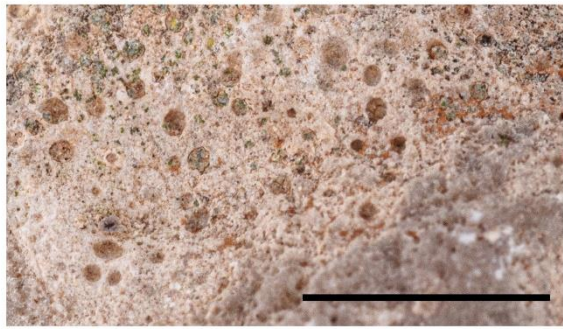
Caulostrepsis isp. (Pl. 08 a.1 – e)

Matériel : Plusieurs spécimens sont présents sur le gastéropode *Cimolithium tenouklense* sur l'huitre *Exogyra conica*, sur le bivalve *Tenea delectrei*, sur l'échinoderme *Hemiaster gabrielis* et sur le corail *Montlivaltia*.

Description : Perforations à entrée unique, en forme de poche ou d'oreille, galeries lisses, non ramifiées, en forme de U avec une ailette reliant les membres. L'étendue des perforations est de 2-2,4 mm de large et 0,2-1,8 mm de long. La section transversale varie de plate-ovale à elliptique.

Remarques : *Caulostrepsis* se distingue de sa cousine *Maeandropolydora* par ses perforations simples en forme de U. Son cousin *Maeandropolydora* se distingue par ses perforations simples en forme de U. Une ailette relie les membres de l'U-bore (Bromley, 2004). Cependant, les spécimens actuels sont érodés à des degrés divers ce qui ne permet pas une identification correcte au niveau de l'ichnospore. Bromley et D'Alessandro (1983) ont modifié l'ichnotaxonomie de *Caulostrepsis* et ont fourni une revue détaillée de ses ichnospecies valides

et de leurs critères de distinction. Critères de distinction. Des cinq ichnospèces formellement reconnues par eux. Ce registre fossile est produit principalement par des annélides polychètes du genre *Polychaete* (Radwański, 1964, 1969 ; Cameron, 1969 ; Hanken et al. 2012).



a.2

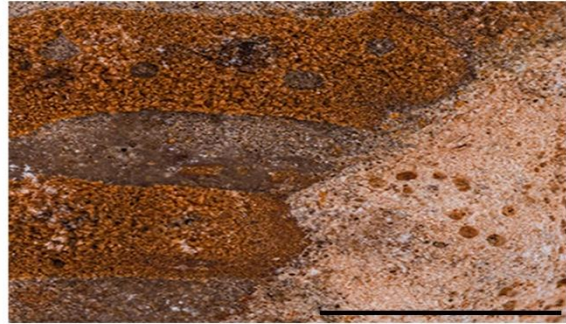


a.1

b.1



b.2



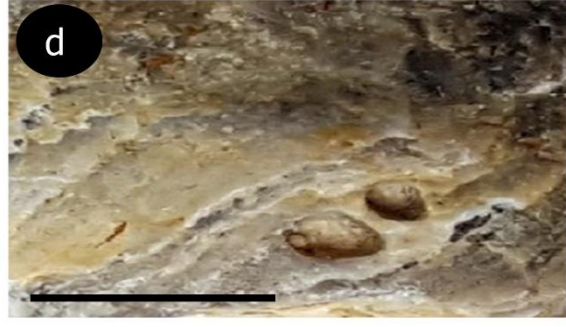
c.2



c.1



e



d

Planche 08

Barre d'échelle = 1cm

Planche 08 :

(a.1, a.2) *Caulostrepsis isp* sur le bivalve *Tenea delettei*.

(b.1, b.2) *Caulostrepsis isp* sur le gastéropode *Cimolithium tenouklense*.

(c.1, c.2) *Caulostrepsis isp* le corail *Montlivaltia*.

(d) *Caulostrepsis isp* sur l'huitre *Exogyra conica*.

(e) *Caulostrepsis isp* sur l'échinoderme *Hemiaster gabrielis*.

5.6.1.5 Ichnogénre : *Talpina* von Hagenow, 1840

Les travaux de Voigt (1972, 1975, 1978) ont démontré que l'ichnogénre *Talpina* est réalisé par des colonies de vers de type *Phoronida*. Il a démontré par la même occasion que *Conchotrema* est synonyme junior de *Talpina*. L'ichnogénre en question est très commun durant le créacé (Voigt, 1972) et le Jurassique (Fursich et al. 1994), il était attribué également au Dévonien (Thomas, 1911 ; Rodriguez et Gutschick, 1970 ; Bromley, 2004).

***Talpina* sp. (Pl. 09 a – d)**

Matériel : quelques spécimens sont représentés sur un fossile indéterminé et sur *Hemiaster gabrielis*.

Description : réseau de tunnel régulier et entrecroisés ayant presque la même longueur de 17 mm avec une section transversale circulaire et un diamètre qui ne dépasse pas 0,5 mm.

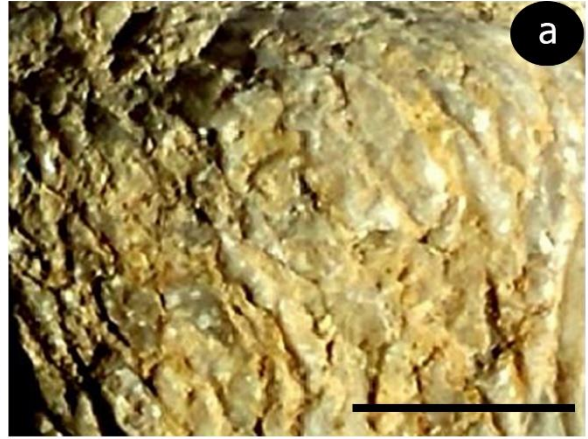


Planche 09

Barre d'échelle = 1cm

Planche 09 :

(a) *Talpina isp* sur un fossile indéterminé.

(b ; c) Face apicale de *Hemiaster gabrielis* présentant une forme de *Talpina isp* mis en évidence par leur remplissage en pyrolusite.

(d) *Placopsilina cenomana* (d'Orbigny 1850) sur *Costagyra olisiponensis*.

5.6.1.6 Ichnogénre : *Trypanites Mägdefrau, 1932*

Les *Trypanites* sont des perforations cylindriques dans un substrat dur, dont les plus anciennes datent du Cambrien mais les plus fréquentes sont de l'Ordovicien et se forment encore aujourd'hui. Ces cavités sont provoquées par la dissolution des carbonates due aux acides sécrétés par certains organismes qui peuvent être des annélides polychètes, des sipunculidés, des crustacés ou probablement des échinides. Peuvent être longs, assez droits, de section variable mais souvent ronds, et de diamètre régulièrement croissant depuis l'ouverture jusqu'à une terminaison en cul-de-sac, arrondie et éventuellement en zigzag près de l'ouverture. (Gérard Breton, [2011](#)).

Trypanites isp. (Pl. 10 a.1 - c.2)

Matériel : Spécimens sur Plusieurs coquilles de *Hemiaster gabrielis*.

Description : Trous uniques, étroits, petits, cylindriques, non ramifiés, verticaux, de 2,9 à 5,8 mm de diamètre. Ils sont préservés à la surface des coquilles, et remplis par un sédiment détritique dolomitique jaunâtre. Principalement orienté perpendiculairement à la surface du litage, et est beaucoup plus abondant et uniforme à la surface.

Remarque : *Trypanites* est le ver fossile le plus commun, le plus macroboré et le plus ancien du registre fossile (K. K.). Plus ancien du registre fossile (Knaust et al., [2012](#)), appartenant à l'ichno-famille Trypanitidae (Wisshak et al., [2019](#)).

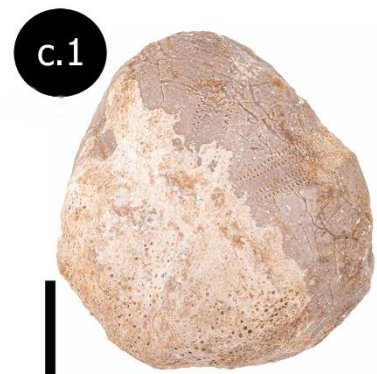
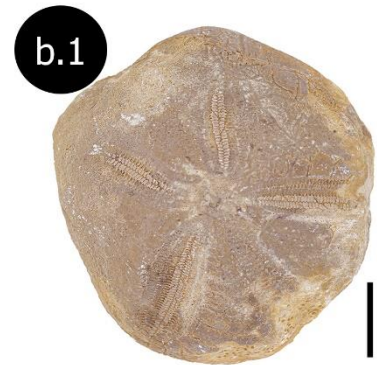
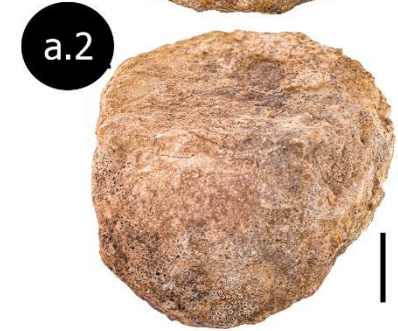
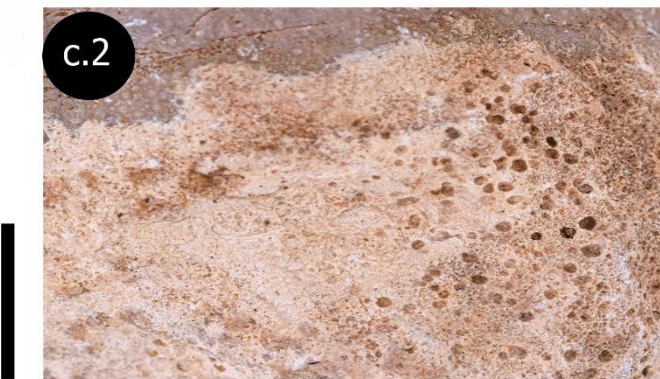
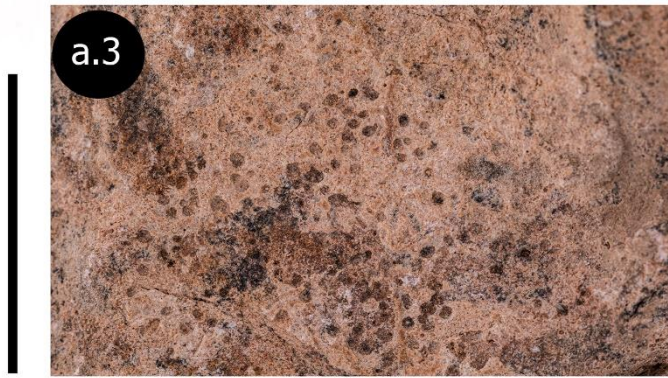


Planche 10

Barre d'échelle = 1cm

Planche 10 :

(a.1, a.2, a.3 ; b.1, b.2 ; c.1, c.2) *Hemiaster gabrielis* présentant *Trypanites* isp.

5.6.1.7 Ichnogenre : *Oichnus* Bromley, 1981

Perforation circulaire à subcirculaire d'origine biologique sur le substrat d'une coquille, qu'elle pénètre ou non en fonction de son épaisseur. Dans ce dernier cas, il crée une dépression dans la coquille ou une perforation courte et subcirculaire. Le plus souvent *Oichnus* est produit par des gastéropodes prédateurs, y compris les naticidés, les muricidés, les tonnacées, les capulidés, Nudibrachia et Pulmonata (Bromley, 1981). Pickerill et Donovan (1998) ont considéré l'ichnogenre *Tremichnus* (Brett, 1985), en tant que synonymie junior de l'ichnogenre *Oichnus*.

***Oichnus* isp. (Pl. 11 a.1 – e.2)**

Matériel : Spécimens sur la coquille *Cucullaea (Idonearca) trigona*, sur *Costagyra olisiponensis* et sur l'*Aspidiscus cristatus*.

Description : perforations grandes de forme paraboliques, perpendiculairement alignées sur la surface extérieure de la coquille. Diamètre variant de 3 à 6 mm en raison de la forme parabolique ; le diamètre de la surface intérieure est plus petit.

Remarque : Les *Oichnus* sont généralement interprétés comme des praedichnia des familles de gastéropodes Naticidae et Muricidae respectivement (Bromley, 1981 ; Pickerill et Donovan, 1998). *Oichnus* peut traverser complètement le substrat s'il s'agit d'une coquille mince, ou se terminer dans le substrat où il forme une dépression peu profonde à profonde, ou un trou subcylindrique.

5.6.1.8 Ichnogenre : *Nihilichnus Nihilichnus* MikulášKadlecová, Fejfar, Dvořák, 2006

***Nihilichnus cf.covichi* Rasser, Vallon, Rodrigo, Salvador, 2016 (Pl. 11 d)**

Matériel : un seul spécimen dans la valve gauche de l'huître *Rhynchostreon suborbiculatum*.

Description : trou relativement grand et grossièrement ovale dans la partie ombilicale de l'huître.

Le grand axe de l'ovale mesure 7,5 mm et le petit axe atteint 5,4 mm. Les bords de l'ovale sont formés de façon caractéristique par des lignes irrégulières. Les dimensions de l'irrégularité au bord de la trace sont de l'ordre du dixième de millimètre ; aucune régularité ne peut être tracée sur la marge dentelée.

Remarques : L'ichnogenre *Nihilichnus* a été établi par Mikuláš et al. (2006) pour des perforations causées par des morsures de carnivores (probablement Amphicyonidae) sur les os creux de petits ongulés. Plus tard, des perforations similaires trouvées sur des gastéropodes d'eau douce du Miocène de l'Allemagne ont également été logées dans *Nihilichnus*, comme *N. covichi* Rasser et al. (2016). Cette ichnospèce est plus régulièrement ovale que l'ichnospèce type *Nihilichnus nihilicus* Mikuláš et al. 2006, avec des dentelures plus fines de la ligne marginale. Par conséquent, nous classons provisoirement notre découverte comme *N. cf. covichi*. Notamment, cette détermination élargit considérablement la gamme stratigraphique et environnementale de l'ichnogenre *Nihilichnus*.



Planche 11

Barre d'échelle = 1cm

Planche 11 :

(a,b,c) *Oichnus isp.* Sur *Cucullaea (Idonearca) trigona*.

(d) *Nihilichnus cf. covichi* Rasser. Sur la valve gauche de *Rhynchostreon suborbiculatum*.

(e.1, e.2) *Aspidiscus cristatus* avec des une trace de ***Oichnus isp.***

5.6.1.9 Ichnogenre : *Spirolites* Uchman, Stachacz, Salamon, 2018

Dépression en forme de spirale involutive, lisse ou avec une annulation perpendiculaire. La largeur de la spirale augmente vers l'extérieur.

Spirolites cf. *radwanskii* Uchman, Stachacz, Salamon, 2018 (Pl. 12)

Matériel : spécimens présents sur le gastéropode *Tylostoma pallaryi*.

Description : Une perforation plate en spirale conservé sous forme de moulage époxy du gastéropode percé et dissous *Tylostoma pallaryi*. L'ichnofossile se compose de deux fils incomplets. La surface est lisse ; la granulation de surface est probablement le résultat d'une inhomogénéité du substrat (le xénoglyphe sensu stricto n'est cependant pas définissable). Les spécimens trouvés

de *Spirolites* cf. *radwanskii* ont une vue latérale approximativement circulaire avec un diamètre de 0,85 mm. La vue supérieure est étroite, seulement 0.235 mm.

Remarques : *Spirolites radwanskii* n'a été reconnu que récemment dans le Miocène de la Paratéthys moyenne de Pologne. Il s'agit donc d'une perforation rare et est considéré comme une perforation d'escargots vermetes, selon une analogie récente (Uchman et al. 2018). Il est présent dans la localité type avec les ichnogenres *Gastrochaenolites*, *Entobia* et *Caulostrepsis*. Uchman et al. (2018) ont supposé que *Spirolites* était produit dans des eaux marines très peu profondes, propres et chaudes. L'occurrence de *Spirolites* dans le Cénomaniens de Djebel Bouarif étend donc la distribution géographique et la gamme stratigraphique de l'ichnogenre.

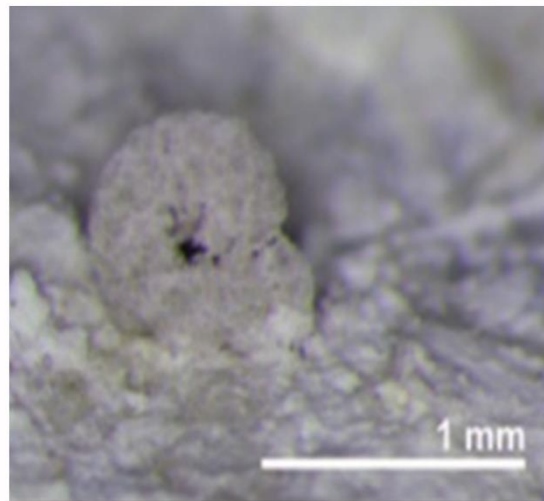
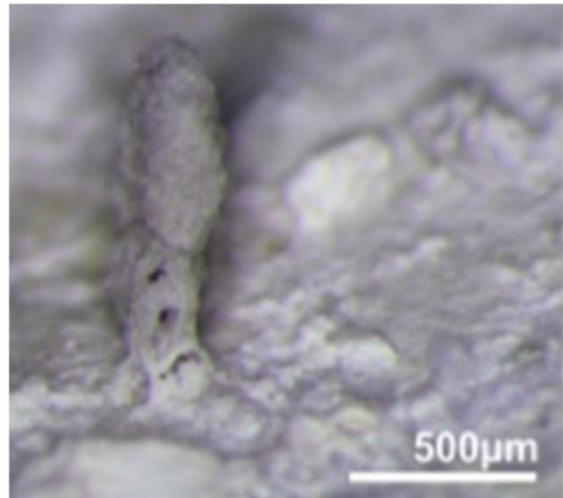
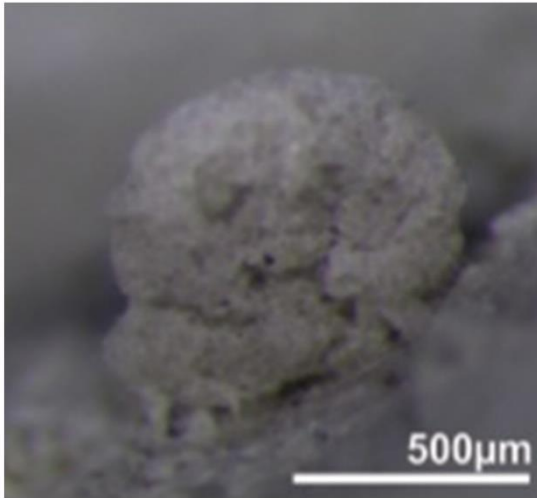


Planche 12

5.6.1.10 Ichnogénre *Rogerella* de Saint-Seine, 1951

Rogerella isp. (Pl. 13 a.1 – e)

Matériel : spécimens trouvés sur les coraux *Montlivaltia* et la surface inférieure de l'*Aspidiscus cristatus*.

Description : Fosse allongée, en forme d'amande, non ornementée, conservée sur la surface supérieure du corail *Aspidiscus cristatus* en forme de coupe. La fosse est orientée obliquement vers la jonction du centre du corail avec le bord. En d'autres termes, l'orientation de la trace ne dépend pas de la géométrie du corail et n'utilise pas la direction des septa pour faciliter la bioérosion. La longueur du trou est de 1,9 mm, avec une largeur maximale de 0,70 mm. La profondeur peut être estimée à 2 mm.

Remarques : Les producteurs de la structure domichnia typique en forme d'amande sont des cirripèdes acrothoraciques femelles qui préfèrent les bioblastes calcaires et d'autres types de roches calcaires. Étonnamment, il n'y a qu'une seule découverte de *Rogerella* isp. dans le matériel étudié, bien que dans les substrats calcaires crétacés à récents *Rogerella* puisse représenter l'ichnogénre dominant (Kořová Veselská et al. 2021).

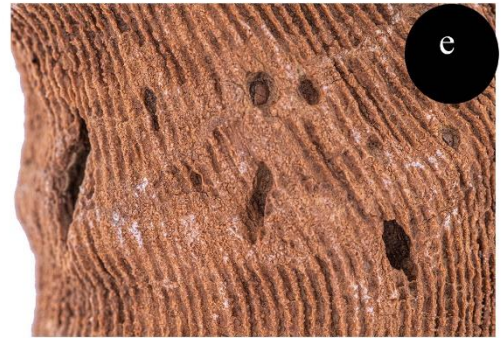
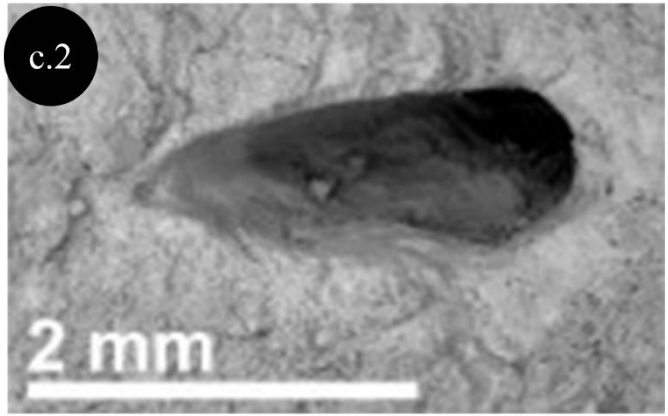


Planche 13

Barre d'échelle = 1cm

Planche 13 :

(a.1, a.2, b.1, b.2, d.1, d.2, e) coraux *Montlivaltia* avec des traces de ***Rogerella isp.***

(c.1, c.2) ***Rogerella isp.*** sur l'*Aspidiscus cristatus*.

La figure 17 montre un croquis de l'ensemble des ichnospecies discutées dans la présente étude

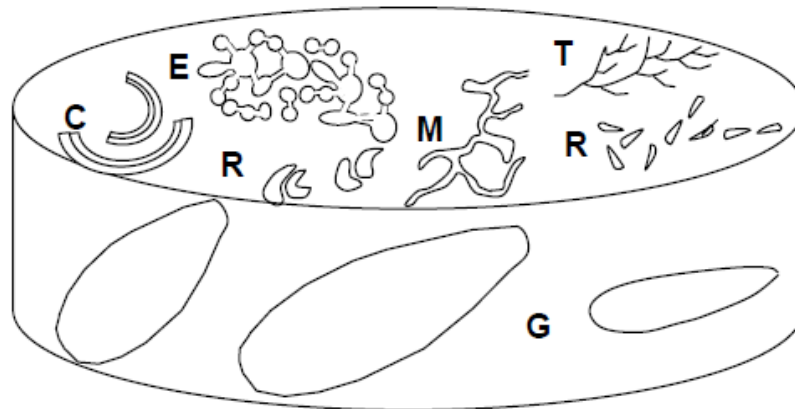


Fig. 17. Croquis de quelques ichnospecies discutées dans la présente étude. *Rogerella pattei* Saint-Seine 1954, (R) ; *Talpina* von Hagenow, 1840 (T), *Maeandropolydora* Voigt, 1965 (M), *Renichnus* Mayoral, 1987 (R), *Caulostrepsis* Voigt, 1971 (C), *Gastrochaenolites* Leymerie, 1842 (G) et *Entobia cretacea* Portlock, 1843 (E).

5.6.2 Epibiontes

Dans les strates du Cénomaniens du sud de l'Algérie, Benyoucef et al. (2021b) ont décrit un assemblage de sclérobiontes comprenant des endo- et des épibiontes sur des coquilles d'huîtres et de plicata. Ces endobiontes sont constitués de valves d'huîtres juvéniles, de l'espèce de polychètes *Glomerula serpentina*, et de bryozoaires. Les épibiontes d'un assemblage de sclérobiontes du Cénomaniens de l'Algérie orientale sont plus Les épibiontes d'un assemblage de sclérobiontes du Cénomaniens de l'Algérie orientale sont plus abondants et se composent principalement de polychètes (*G. serpentina*), d'huîtres juvéniles et de non-humains. Les huîtres et les bivalves non huîtres, tels que *Pseudolimea ?granulata* Nilsson (1827) et des bivalves juvéniles indéterminés (Fig. 4). Les hôtes de ces épibiontes sont principalement représentés par le corail *Aspidiscus cristatus* et les grandes coquilles d'huîtres remaniées, Exogyrinae entre autres.

5.6.2.1 *Les polychètes*

Les vers tubicoles Sabellidae, notamment ceux appartenant au genre *Glomerula*, représentent des épibiontes typiques des substrats crétacés (Sklenář). Substrats crétacés (Sklenář et al. 2013 ; Kočí, 2012 ; Kočí et al. 2017 ; Benyoucef et al. 2022).

5.6.2.2 *Ichnogène : Glomerula serpentina Goldfuss, 1831 (Pl. 14)*

Matériel : surfaces supérieure et inférieure du corail *Aspidiscus cristatus* (Bar 26, Bar 22) (Cénomaniens moyen). Description : tubes circulaires lisses attachés à la coquille, sans ornementation longitudinale ou transversale. Ornementation longitudinale ou transversale. La croissance est très irrégulière ; Les tubes forment des méandres 2D ou des spirales 2D ou des nœuds irréguliers 3D. "Glomérats". La longueur maximale des tubes est de 45 mm. Le diamètre varie entre 1 et 2 mm, la lumière circulaire et la constriction trilobée n'ont pas été observées.

Remarques : Ce genre de sabellidae est l'épibionte le plus typique des substrats durs du Permien (Sanfilippo et al. 2017 ; Ramsdale, 2021) au récent (Perkins, 1991 ; Capa et al. 2020 ; Vinn et al. 2008 ; Vinn 2021). Des espèces liées au Crétacé telles que *G. solitaria*, *G. serpentina*, *G. lombrica*, *G. serpentina*, *G. lombricus* et *G. plexus* sont mentionnées par Jäger (2005, 2011), Kočí (2012) et Sklenář et al. (2013). Les remarques paléoécologiques ont été résumées par Seilacher et al.(2008), Sklenář et al. (2013) et Rashwan et al. (2022).

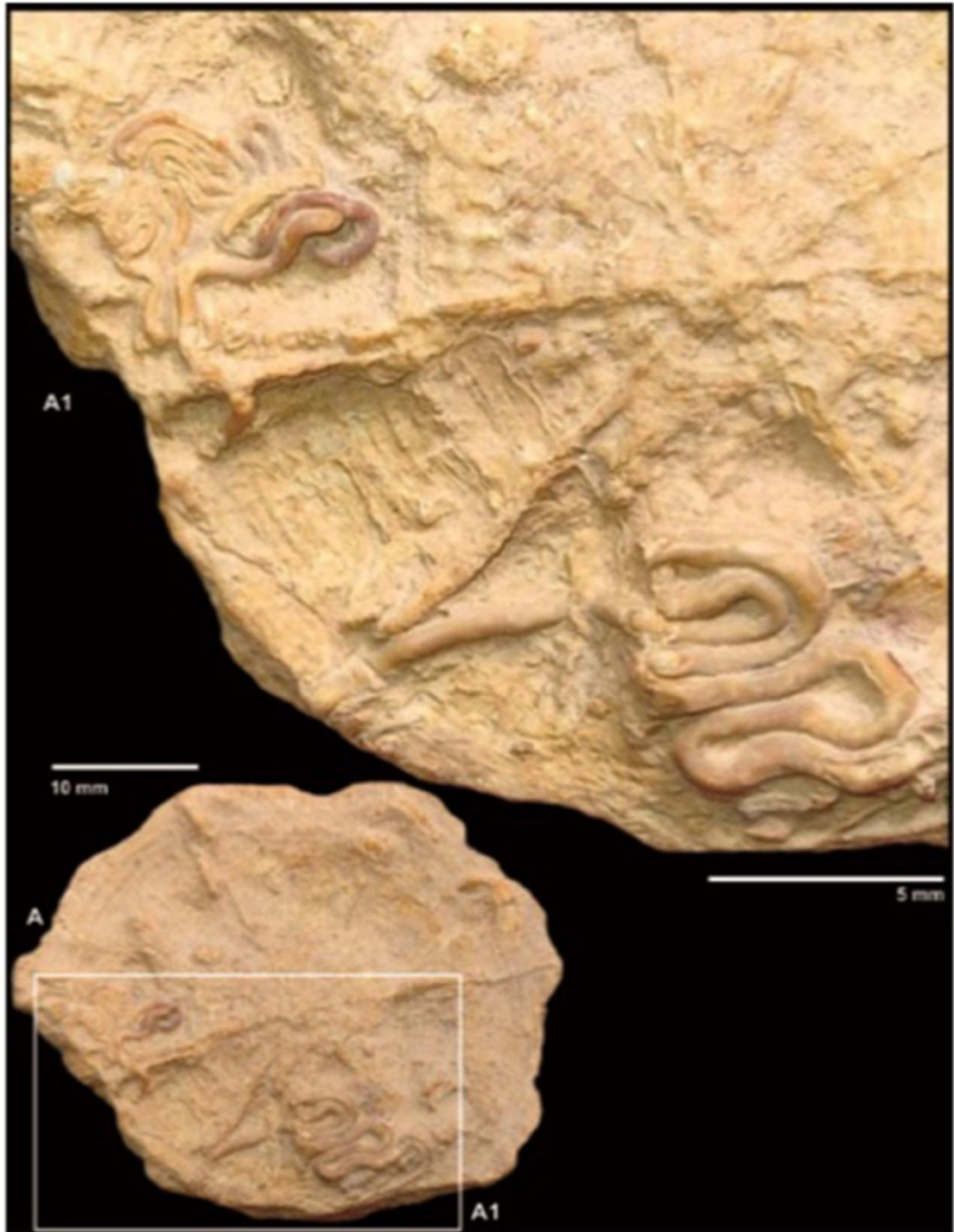


Planche 14

Planche 14 :

Glomerula serpentina fixée au corail *Aspidiscus cristatus*, vue détaillée des tubes sinueux fixés.

5.6.2.3 Coquilles d'huîtres juvéniles

(Pl. 15 a - d)

Situées sur la surface inférieure du sur la surface inférieure du corail *Aspidiscus cristatus*.

5.6.2.4 Bivalves autres que des huîtres

(Pl. 16 a - b)

De petits bivalves, dont le diamètre de la coquille est souvent inférieur à 8 mm, sont présents sur le site. De petits bivalves, dont le diamètre de la coquille est souvent inférieur à 8 mm, sont présents sur la valve droite de *Costagyra olisiponensis* et sur la surface inférieure du corail *Aspidiscus cristatus* (Cénomaniens moyen). *Cristatus* (Cénomaniens moyen).

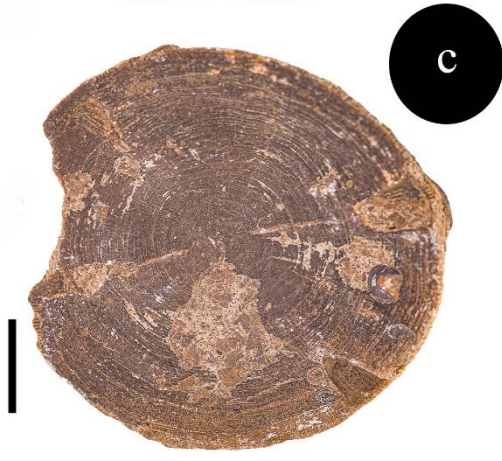
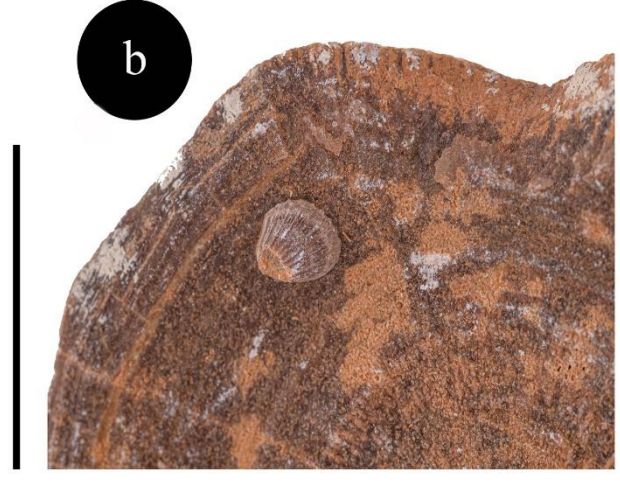


Planche 15

Barre d'échelle = 1cm

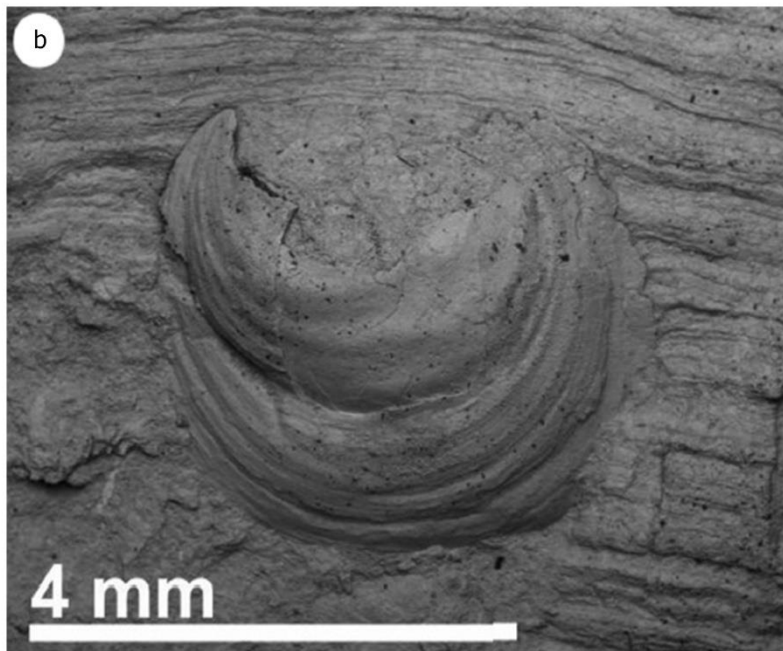
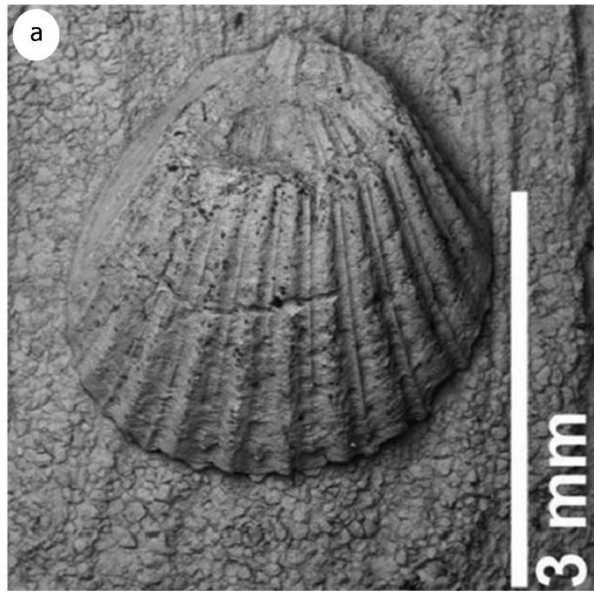


Planche 16

Planche 15 :

- (a) terrier fereginiser sur *Hemiaster gabrielis*.
- (b) Bivalves autres que des huîtres fixé sur *Aspidiscus cristatus*.
- (c) Coquilles d'huîtres juvéniles sur *Aspidiscus cristatus*.
- (d) Coquilles d'huîtres juvéniles sur *Costagyra olisiponensis*
- (e) Micro-gastéropodes perforateurs sur *Costagyra olisiponensis*.

Planche 16 :

- (a) *Pseudolimea ? Granulata* (Nilsson 1827). Sous le MEB
- (b) Bivalve indéterminé juvénile. Sous le MEB

5.7 Conclusion

L'étude ichnologique qui s'est focalisée sur diverses communautés de sclérobiontes des 4 coupes levée du Cénomaniens de la région de Batna a permis de recenser la présence de 11 Ichnoespèces (*Entobia* isp ; *Gastrochaenolites* isp ; *Maeandropolydora* isp ; *Trypanites* isp ; *Caulostrepsis* isp ; *Rogerella* isp ; *Talpina* isp ; *Oichnus* isp ; *Nihilichnus nihilicus* ; *Spirolites* cf. *radwanskii*) et plusieurs occurrence d'épibionte tel que (*Glomerula serpentina* ; Coquilles d'huîtres juvéniles ; Bivalves autres que des huîtres). L'ensemble de ces résultats constitue un exemple exceptionnel de l'ichnofacies Trypanites où la plupart des traces fossiles sont des domichnia et Fodinichnia

CHAPITRE V
DISCUSSION ET INTERPRETATION

6 CHAPITRE V : DISCUSSION ET INTERPRETATION

Les traces fossiles sont des structures produites par le comportement des organismes et peuvent être utilisées pour interpréter l'environnement de dépôt, le taux de sédimentation, l'oxygénation des eaux de fond et des milieux, le profil des eaux souterraines et l'énergie de dépôt dans n'importe quel milieu ; y compris le domaine marin. Un seul enregistrement fossile ne peut être indicatif d'un environnement ou d'une condition physico-chimique particulière. Cependant, un assemblage ou une suite d'enregistrements fossiles fournit des interprétations plus solides de la genèse et de l'histoire des strates. Le présent travail représente une étude pluridisciplinaire basée sur un couplage des données sédimentaires, biostratigraphiques, et ichnologiques et ce, pour une meilleure compréhension sur l'évolution des ichnofacies et de leur paléoenvironnement à Batna. Dans cette région, les différentes traces de bioérosion et d'incrustation rencontrées sont signalées sur les coquilles des macro-invertébrés benthiques du Cénomaniens ; qui semblent être des niches idéales pour leurs proliférations. Ces traces sont généralement l'œuvre de brouteurs, de prédateurs ou de vers et de leurs activités et forment diverses communautés de sclérobiontes formées de traces de bioérosion, d'encroûtement et d'incrustations. Les traces comprennent les ichnotaxons produits par des éponges clionides (*Entobia*), des annélides sipunculien et polychètes (*Trypanites*), des bivalves (*Gastrochaenolites*). Ces trois ichnogenres dominants sont les composants les plus courants de l'ichnofaciès *Trypanites* de Frey et Seilacher (1980) caractéristique des estuaires (Gingras et al. 2012), des rivages rocheux des systèmes siliciclastiques marins peu profonds (Gibert et al. 2012) et des plateformes carbonatées souvent dans des environnements subtidaux et intertidaux (Knaust et al. 2012). Ils sont généralement associés à d'autres ichnotaxons bioérosionnels tels que *Maeandropolydora*, *Caulostrepsis*, *Rogerella*, *Talpina*, *Oichnus Nihilichnus* et *Spirolites* (Kara Ahmed et al. 2022). Des occurrences similaires ont été enregistrées dans de nombreuses régions du monde (par exemple, Edinger et Risk, 1994 (nord-ouest et au sud-ouest de Porto

Rico) ; Pleydell et Jones, 1988 (Cayman Brac, Antilles britanniques) ; Blissett et Pickerill, 2004 (Jamaïque, Antilles) ; Pickerill et al, 2002 (Willapa Bay, Washington) ; Wysocka et al, 2016 (Pologne, Ukraine et Moldavie) ; Uchman et al, 2002 (Bassin de Mut, dans le sud de la Turquie) ; Perry, 1996 (Mallorca, Espagne) ; Radwański, 1970 (Dépression des Carpates antérieures en Ukraine) ; Donovan et al, 2001 (Carriacou, les Grenadines, les Petites Antilles) ; Perry, 2000 (Formation de Falmouth, Jamaïque) ; Wilson et al, 1998 (Arkansas, USA) ; Pickerill et al, 1998 (l'ouest de l'île du Cap-Breton, dans l'est du Canada)). La description de cet ichnofacies coïncide avec celle décrite par Bromley et Asgaard (1993) pour l'ichnofacies *Entobia*, qui se produit généralement dans des conditions d'exposition à court terme des sous-marins en paramètres d'énergie modérée. L'ichnofacies Trypanites constitue un instrument puissant pour une meilleure compréhension de la paléocéologie des communautés du fond et leurs significations. Selon la large distribution dans l'espace et le temps de l'ichnotaxa reconnu, on pourrait supposer que les coquilles des invertébrés (vivants ou morts) étaient disponibles sur le fond marin permettant la colonisation par les organismes bioérodeurs pendant un intervalle de temps considérable. Ça offrait la possibilité aux bioérodeurs d'obtenir un substrat dur disponible dans les zones côtières proche du littorale. Le paléoenvironnement mis en évidence par le matériel étudié fait référence à un environnement gravement proche du rivage (Sanders et al. 2007) ou à un faciès de rampe peu profonde près du rivage (Leinfelder et al. 1993 ; Nose, 1995). D'autre part, tous les organismes endolithiques, en particulier Les sondages *Entobia* (éponges endolithiques), nécessitent un faible taux de sédimentation. Dans ce contexte, l'ichnoassemblage étudié suggère un milieu avec un faible taux de sédimentation. Cet ichnofacies offre une excellente occasion de revoir l'ichnofacies types dans les substrats durs.

L'ichnoassemblage étudié est dominé par des *Gastrochaenolites*, le plus souvent avec des traceurs clavés qui sont conservés in situ. Les *Gastrochaenolites* se trouvent principalement dans les surfaces inférieures du corail *Aspidiscus. Cristatus*, des bivalves (*Tenea. delettei*, *Cucullaea. (Idonearca). trigona*) et la face latérale du corail *Montlivaltia* sp.. *Entobia* et *Maeandropolydora* sont également communément conservés dans les coraux et sur les valves gauches et droites des bivalves *Tenea delettei*. Dans d'autres cas de figure, *Entobia* apparaît seule sur les gastéropodes *Tylostoma pallaryi*, *Nerinea texana* et sur le bivalve *Granocardium productum*. *Trypanites* est généralement présent sur des spécimens de *Hemiaster gabrielis* et parfois conservés conjointement avec des *Rogerella* affectant le corail *Montlivaltia* sp. La plupart des spécimens de l'ichnogenre *Oichnus* ont été principalement enregistré dans des coquilles fines de bivalves et de gastéropodes, tels que (*Ampullina* sp et sur la valve gauche de *Tenea delettei*). Les autres perforations sont rares et sont représentés par un ou deux spécimens de *Caulostrepsis*, *Talpina*, *Nihilichnus* et *Spirolites*. *Spirolites* et *Nihilichnus* sont rapportés pour la première fois dans les bioclastes calcaires du Cénomaniens de la région de Batna a Djebel Bouarif (Kara Ahmed & al. 2022). La gamme stratigraphique et la répartition géographique de ces ichnogenres s'étendent dans les strates mésozoïques en Europe (Rasser et al. 2016 ; Uchman et al. 2018). L'abondance des structures de bioérosion sur les bivalves, les gastéropodes et les coraux et les échinides étudiés a montré quelques différences intéressantes. La plupart des bivalves et des gastéropodes sont bioérodés par des éponges clionides *Entobia*, la majeure partie des échinides referment des traces de *Trypanites*, tandis que la plupart des coraux sont bioérodés par des *Gastrochaenolites*.

Les structures identifiées révèlent trois types d'activités : Domichnia, Praedichnia et Fodinichnia. Six perforations de traces domichniques (*Entobia*, *Trypanites*, *Caulostrepsis*, *Rogerella*, *Maeandropolydora* et *Gastrochaenolites*), et quatre perforations enregistrés sont des praedichnia et des fixichnia (*Talpina*, *Oichnus*, *Nihilichnus* et des *Spirolites*) sont alors décelés.

La majorité des perforations étudiés sont des traces domicniques laissées par des organismes qui habitent ou se déplacent sur le substrat, telles que les terriers, les galeries et les empreintes de pas et sont créées par l'activité de l'organisme lui-même. Les incrusteurs sont constitués de sabellidés tubicoles polychètes *Glomerula*, de coquilles d'huîtres juvéniles et de bivalves (ex. bivalves (par exemple *Pseudolimea granulata*).

La question qui se pose est de savoir si les sclérobiontes vivaient pendant que les macro-invertébrés étaient encore vivants ou post-mortem pendant l'infestation ? Les sclérobiontes, en particulier *Gastrochaenolites*, peuvent être mortels pour les coquilles et les coraux en détruisant une partie considérable de leurs organismes et en affaiblissant considérablement leurs forces physiques. L'occurrence de grands *Gastrochaenolites* dans les *Montlivaltia* (par exemple, Figure 4), les épibiontes et la bioérosion sur les coquilles internes des bivalves, ou les scléroses intérieures des coquilles de bivalves, ou les sclérobiontes sur les surfaces inférieures de *Aspidiscus cristatus* font référence à la colonisation post-mortem de spécimens renversés (cf. figure 5). Cependant, la colonisation des coquilles étant vivants peut être suggérée pour *Maeandropolydora*, *Entobia*, les forures clavées de *Gastrochaenolites* dans les coquilles de mollusques et les faces latérales des squelettes de coraux.

La coexistence et distribution chronologique contemporaine, entre zoo- et ichnotaxons, sont révélatrices d'environnements et de conditions de vie similaires (Bromley et d'Alessandro, 1989). En effet, la répartition chronologique des ichnotaxa indique que le Cénomaniens inférieur (Unité A) et le Cénomaniens supérieur (Unité C) sont caractérisés par de rares preuves de bioérosion. La rareté de traces de bioérosion dans ces deux intervalles stratigraphiques peut être expliquée par les conditions paléoenvironnementales. En effet, Slami et al. (2018) et Aouissi et al.(2020) attribuent ces dépôts à des environnements marins ouverts profonds et à des phases transgressives franches à l'abri de l'érosion. D'autre part, El Qot et al. (2009) expliquent cette absence de certains spécimens dans des unités lithologiques équivalentes par un bon

enfouissement post-mortem. Cependant, le Cénomaniens moyen (Unité B) et le Cénomaniens supérieur (Unité D) montrent des traces de bioérosion bien prononcées et diversifiées, ainsi que des phénomènes d'incrustation marquant l'ensemble des macroinvertébrés benthiques. A ces niveaux, les ichnogènes dominants sont *Entobia* et *Gastrochaenolites* associés à une ichnocoenose qui est formée par *Entobia isp.*, *Gastrochaenolites isp.*, *Maeandropolydora isp.*, *Trypanites isp.*, *Caulostrepsis isp.*, *Rogerella isp.*, *Talpina isp.*, *Oichnus isp.*, *Nihilichnus nihilicus* Mikuláš, et *Spirolites cf. radwanskii*.

Cet assemblage est commun dans les contreparties marines mésozoïques de la Téthys ; par exemple en France (Breton et al. 2017) et dans le nord de l'Algérie (Naimi et al. 2021a-c), et appartient à l'ichnofaciès Trypanites. Contrairement aux autres groupes de macroinvertébrés, la distribution spatiale montre une forte densité de bioérosion dans les coraux (*Montlivaltia* sp. et *Aspidiscus cristatus*).

L'observation détaillée des spécimens montre qu'en termes de nombre d'individus, les foreurs sont plus communs que les incrusteurs. Il pourrait s'agir d'une forme d'amensalisme de groupe trophique, lorsque l'abondance des bioérodés empêchait l'installation des larves d'autres espèces, et/ou empêchait la croissance des colonies existantes (Vinn et Toom 2016). Néanmoins, il faut se rappeler que ces résultats peuvent être faussés parce que les surfaces originales des invertébrés, fortement endommagées et abrasées mécaniquement et chimiquement, à tel point que les traceurs bivalves des *Gastrochaenolites* sont parfois mis à nu, perdant ainsi leurs encrusteurs et ne conservent que leur trace de bioérosion. Ces nouveaux résultats renforcent l'ichnofaciès préexistant de Trypanites dans la région qui, avec les *Spirolites*, se sont développés dans un environnement marin peu profond de quelques dizaines de mètres, allant de l'intertidal inférieur à l'infratidal. (Bromley, 1992 ; Bromley et Asgaard, 1993a, b ; Calcinai et al. 2005 ; Herkat, 2007 ; Breton et al. 2017 ; El Hedeny et El Sabbagh, 2018 ; Uchman et al. 2018). En outre, Bromley et Asgaard, (1993), Gibert et al. (1998) et Naimi

et al. (2021b) proposent la possibilité de l'existence du même ichnofaciès dans un environnement légèrement profond. Ceci explique la préservation de certains bioérodeurs pendant la phase transgressive du Cénomaniens qu'a connu la région. La prolifération de ces traces fossiles dépend également de l'oxygénation des eaux de fond, de la nutrition et du taux de sédimentation. Le fait que les invertébrés soient bioérodés sur la quasi-totalité de leur surface peut indiquer soit une exposition considérable sur la surface du plancher océanique ou de courtes périodes d'exposition au substrat dur avec un enfouissement et une exhumation occasionnelle (événements répétés de sédimentation et d'érosion marine).

La longue période de temps d'exposition des sols durs est accompagnée d'un faible taux de sédimentation et d'une eau sans turbidité (par exemple, Parsons. et Brett, 1991 ; Martinell. et Domènech, 1995 ; Perry, 2000 ; El Hedeny, 2005, 2007 ; El Hedeny et El Sabbagh, 2018 ; Salahi et al. 2018 ; Rashwan et al. 2019). Cependant, le fait que les invertébrés du Cénomaniens de Batna sont fortement abradés mécaniquement et fortement bioérodés sur différents côtés, notamment les surfaces inférieures du corail *Aspidiscus cristatus* et des parties fracturées de *Montlivaltia* sp., indique l'hypothèse selon laquelle qu'ils ont été déplacés et roulés par les courants d'eau dans un environnement à plus haute énergie avec des contenus élevés de nutriments dans une eau de mer propre.

La répartition de la bioérosion est souvent plus grande sur les marges sud-est du domaine téthysien que sur la marge sud-ouest. Elle témoigne d'un gradient thermique et d'une zonation climatique spécifiques, avec des eaux relativement plus chaudes sur la marge sud-est téthysienne au Cénomaniens, favorisant une bioérosion beaucoup plus fréquente et plus poussée des spécimens fossiles des régions sud-téthysiennes que celle affectant les spécimens des régions septentrionales de la Téthys. Dans les dépôts du Cénomaniens de la région de Batna, l'activité de bioérosion est remarquable en termes de diversité ichnique et de densité de fourrage. Le substrat de cette région montre un assemblage d'ichnofossiles plus diversifié avec

la présence de *Gastrochaenolites* et d'autres ichnotaxons tels qu'*Entobia*, *Caulostrepsis*, *Trypanites*, *Rogerella* et *Oichnus*. En comparaison, la marge sud-ouest téthysien présente une faible ichnodiversité. Les fourrages de *Rogerella* et d'autres ichnotaxons sont pour la première fois reconnus dans les substrats durs des marges sud-est. En outre, la diversité des ichnoespèces est plus élevée à Batna que dans toute autre localité de la marge sud-ouest téthysien. Les perforations d'*Entobia*, *Trypanites* et de *Gastrochaenolites* sont les seuls ichnotaxons qui se rencontrent à la fois sur les marges sud-est et dans les substrats durs de la marge sud-ouest. Les restes d'*Epilithobiont* sont rares dans toutes les autres localités.

L'étude des sclérobiontes des strates du Cénomaniens de Batna a conduit à la première étude ichnotaxonomique importante dans la région. Nous soulignons ainsi la nécessité de réaliser davantage d'études sur les invertébrés comme substrats durs au Crétacé dans d'autres régions du nord-est de l'Algérie. Cela permettra d'améliorer à la fois la couverture temporelle et géographique de ces interactions sclérobiontes-hôtes et aideront à reconstruire les différentes phases du cycle transgressif qui a marqué le Cénomaniens.

CONCLUSION

7 CONCLUSION

Les travaux antérieurs sur la Formation des ‘Marnes de Smail’ aux alentours de Batna lui attribuent un âge Cénomaniens. Ils la subdivisent en quatre unités lithologiques distinctes : Unité (A) correspondant au Cénomaniens inférieur ; Unité (B) d’âge Cénomaniens moyen ; Unité (C) attribuée aux premiers termes du Cénomaniens supérieur ; et Unité (D) équivalente au Cénomaniens supérieur tardif. Les résultats de ces travaux révèlent une homogénéité nette dans sa sédimentation, une similitude dans le registre fossile avec une forte biodiversité. Elle expose des alternances de marnes et calcaires et une association macrobenthique assez abondante en bivalves, gastéropodes, ammonites, échinodermes et coraux. Cette homogénéité et cette richesse attestent des conditions paléocéologiques favorables et stables. Elles révèlent aussi des affinités paléobiogéographiques sud téthysiennes. La présente étude est un essai inédit qui révèle la présence d’un potentiel assez élevé en traces de bioérosion et d’encroûtements sur les macro-invertébrés du Cénomaniens. Elle vise à établir une étude ichnologique aux alentours de Batna. Sur la base de ces données, quatre sections sont alors sélectionnées, levées et échantillonnées : Metrassi, Hamla Théniet el Menchar et Djbel Bou Arif.

Cette étude ichnologique s’est focalisée sur diverses communautés de sclérobiontes et a permis de recenser la présence d’une vingtaine d’ichnoespèces, dont quinze traces de bioérosion (*Entobia* isp., *Gastrochaenolites* isp., *Maeandropolydora* isp., *Trypanites* isp., *Caulostrepsis* isp., *Rogerella* isp., *Talpina* isp., *Oichnus* isp., *Nihilichnus nihilicus*, *Spirolites* cf. *radwanskii*) et cinq traces d’Epibiontes (polychètes sabellides tubicoles, *Glomerula serpentina*, des coquilles d’huîtres juvéniles). *Spirolites* et *Nihilichnus* sont signalés pour la première fois en Algérie ; à Djebel Bouarif.

Les structures identifiées révèlent trois types d’activités : Domichnia, Praedichnia et Fodinichnia. Six perforations de traces domichniques (*Entobia*, *Trypanites*, *Caulostrepsis*,

Rogerella, *Maeandropolydora* et *Gastrochaenolites*), et quatre perforations enregistrés sont des *praedichnia* et des *fixichnia* (*Talpina*, *Oichnus*, *Nihilichnus* et des *Spirolites*) sont alors décelés.

Les coraux semblent être les niches les plus idéales pour la prolifération de diverses traces de bioérosion et d'incrustation. La plupart des perforations sont fréquents sur les parties supérieures ou les surfaces latérales des coquilles des spécimens récoltés. Ils sont perpendiculaires à la surface et parfois tronqués. Les parties extérieures des trous ont été altérées par l'érosion marine. Ces traces sont dominées par des *Gastrochaenolites* se trouvant principalement dans le corail *Aspidiscus cristatus* et sur la face latérale du corail *Montlivaltia* sp, très souvent associés à des *Entobia* et *Maeandropolydora*.

La distribution chronologique des ichnotaxons indique que le Cénomaniens inférieur (Unité A) et le Cénomaniens supérieur (Unité C) sont caractérisés par de rares traces de bioérosion. La rareté de ces traces dans ces deux intervalles stratigraphiques est expliquée par les conditions paléoenvironnementales, attribuées à des environnements marins ouverts profonds et à des phases transgressives franches à l'abri de l'érosion. Le Cénomaniens moyen (Unité B) et le Cénomaniens supérieur (Unité D) montrent des traces de bioérosion bien prononcées et diversifiées, ainsi que des phénomènes d'incrustation, marquant l'ensemble des macrosinvertébrés benthiques, dominé par *Entobia* et *Gastrochaenolites* formant une ichnocénose composée de *Entobia. isp.*, *Gastrochaenolites. isp.*, *Maeandropolydora. isp.*, *Rogerella. isp.*, et *Spirolites. cf. radwanskii*.

Le contenu de cet ichnoassemblage est attribué à l'ichnofaciès Trypanites typique d'un environnement marin peu profond de quelques mètres à quelques dizaines de mètres de profondeur ; allant de la zone intertidale inférieure à la zone subtidale dans un environnement à haute énergie avec des contenus élevés en nutriments dans une eau de mer propre avec de faibles taux de sédimentation et des périodes de non-dépôt.

La répartition de la bioérosion est souvent plus grande sur les marges sud-est du domaine téthysien que sur la marge sud-ouest. Elle témoigne d'un gradient thermique et d'une zonation climatique spécifiques, avec des eaux relativement plus chaudes sur la marge sud-est téthysienne au Cénomanién, favorisant une bioérosion beaucoup plus fréquente et plus poussée des spécimens fossiles des régions sud-téthysiennes que celle affectant les spécimens des régions septentrionales de la Téthys.

L'étude des sclérobiontes des strates du Cénomanién de Batna a conduit à la première étude ichnotaxonomique importante dans la région. Nous soulignons donc la nécessité de réaliser davantage d'études sur les invertébrés comme substrats durs du Crétacé dans d'autres régions du nord-est de l'Algérie. Cela améliorera la couverture temporelle et géographique de ces interactions sclérobiontes-hôte et aidera à reconstruire les différentes phases du cycle transgressif qui a marqué le Cénomanién à Batna.

REFERENCES

8 REFERENCES

Avanzini M, Contardi P, Ronchi A, Santi G. 2011 Ichnosystématique des traces d'invertébrés du Permien inférieur des bassins du Collio et du Mont Luco (Italie du Nord), Volume 18, Numero 2 Date 04/2011 Source Scopus Copyright 2011 Elsevier BV, Tous droits réservés. Pages 95 – 113 ISSN 1042-0940 EISSN 1563-5236 Identificateur d'objets numériques [10.1080/10420940.2011.573604](https://doi.org/10.1080/10420940.2011.573604)

Avanzini M, Massimo Petti FP, Bel Vedere M, De Gasperi A M, Ferretti P, Girard. S, Remondino F & Tomasoni R. 2008 Digital 3D modelling of dinosaur footprints by photogrammetry and laser scanning techniques: integrated approach at the Coste dell'Anglone tracksite (Lower Jurassic, Southern Alps, and Northern Italy) Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol., 83 (2008): 303-315 ISSN 0392-0534

Aouissi R, Salmi-Laouar S, Hoşgör I. 2022 *Crassatella baudeti* (Coquand, 1862) du Cénomanién de Batna (NE algérien) : paléobiogéographie, paléoécologie et biostratigraphie *Crassatella baudeti* (Coquand, 1862) from the Cenomanian of Batna (NE Algeria): Palaeobiogeography, palaeoecology and biostratigraphy Volume 108, Issue 3, July–September 2022, 102569 <https://doi.org/10.1016/j.annpal.2022.102569>

Aouissi R, Salmi-Laouar S, El QOT GM, Ferré B. 2020 Céphalopodes du Cénomanién des monts Bellezma-Aurès, NE Algérie : Taxonomie et biostratigraphie Céphalopodes du Cénomanién des monts de Bellezma-Aurès, NE Algérie : taxonomie et biostratigraphie *Annales de paléontologie* Tome 106, Numéro 3, juillet–septembre 2020 , 102409 <https://doi.org/10.1016/j.annpal.2020.102409>

Abdel-Gawad GI, El-Sheikh HA, Abdelhamid MA, El-Beshtawy MK, Abed MM, Fürsich FT, El Qot GM. 2004 Stratigraphic studies on some Upper Cretaceous successions in Sinai, Egypt *Revue Egyptian Journal of Paleontology* Volume 4 Numéro 263 Pages e303

Agassiz L & Desor, 1846, Published in: World Echinoidea Database. *Heliocidaris* L. Agassiz & Desor, 1846. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=179681> on 2020-02-04 source: World Echinoidea Database

Agassiz L, Sowerby J, Desor E, Nicolet H, Sonrel A. 1837 Mineral Conchology of Great Britain

- Arthur MA, Dean WE, Schlanger SO. 1985** Variations in the Global Carbon Cycle During the Cretaceous Related to Climate, Volcanism, and Changes in Atmospheric CO₂, First published: 01 January 1985 <https://doi.org/10.1029/GM032p0504>
- Bureau, D. 1967** Description d'un chevauchement sur le flanc méridional du Djebel Tuggurt (Monts du Belezma, Algérie), 237-239. ISSN 0037-9417 <http://pascalfrancis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=6921242>
- Bureau, D. 1973** CONDITIONS DE SEDIMENTATION DU VALANGINIEN INFÉRIEUR AU NORD DE L'AURES. <http://pascalfrancis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCALGEODEBRGM7520082151>
- Bureau, D. 1975** Esquisse géologique des Monts de Belezma-Aurès, Algérie. Publication du Service de Carte d'Algérie, Bulletin45, 75-92.
- Bureau, D. 1986** Approche sédimentaire de la dynamique structurale: Evolution mésozoïque et devenir orogénique de la partie septentrionale du fossé saharien (Sud-Ouest constantinois et Aurès, Algérie). Thèse Doctorat ès sciences, Université Pierre et Marie Curie, Paris, 2 vol., 1re partie, 441 pp.
- Bensekhria A, Marmi R, Yahiaoui A. 2019** Cenomanian and lower Turonian relative chronology and palaeoenvironmental framework of the Nouader site (Aures Basin, Northeastern Algeria. Geol Mag. 1–15. [doi:10.1017/S0016756819000153](https://doi.org/10.1017/S0016756819000153)
- Bellion, Y. 1972** Etude géologique et hydrogéologique de la terminaison occidentale des Monts de Bélezma (Algérie). Thèse de Doctorat de 3ème Cycle, Paris VI, 186 pp.
- Bellion et Guiraud, 1973** Répartition stratigraphique des principaux ostracodes (Cytheracea) dans le Crétacé supérieur du sud-ouest constantinois.(Confins Hodna-Aurès, Algérie)
- Bromley RG. 1978** Bioerosion of Bermuda reefs: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, v. 23, p. 169–197.
- Bromley R, Asgaard U. 1979** Triassic freshwater ichnocoenoses from Carlsberg Fjord, East Greenland Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology Volume 28, 1979, Pages 39-80 [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(79\)90112-3](https://doi.org/10.1016/0031-0182(79)90112-3)
- Bromley RG. 1981.** Concepts in ichnotaxonomy illustrated by small round holes in shells. Acta Geologica Hispánica 16, 55–64.
- Bromley RG, D'Alessandro A. 1983.** Bioerosion in the Pleistocene of Southern Italy: ichnogenera *Caulostrepsis* and *Maeandropolydora*. Riv Ital Paleontol Stratigr. 89:283–309.

- Bromley RG, D'Alessandro A. 1984.** The ichnogenus *Entobia* from the Miocene, Pliocene and Pleistocene of Southern Italy. *Riv Ital Paleontol Stratigr.* 90:227– 296.
- Bromley RG, D'Alessandro A. 1987.** Bioerosion of the Plio-Pleistocene transgression of Southern Italy. *Riv Ital Paleontol Stratigr.* 93:379–442. <https://riviste.unimi.it/index.php/RIPS/article/view/13191/12351>.
- Bromley & d'Alessandro, 1989** Ichnological study of shallow marine endolithic sponges from the Italian coast
- Bromley RG & Asgaard U. 1990** Ichnofacies: a mixture of taphofacies and biofacies, <https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.1991.tb01463.x>
- Bromley RG & Asgaard U. 1993.** Endolithic community replacement on a Pliocene rocky coast. *Ichnos* 2, 93–116.
- Bromley RG, Hanken NM, Miller J. 1996** Plio-Pleistocene sedimentation in coastal grabens, north-east Rhodes, Greece [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1034\(199612\)31:4<393::AID-GJ712>3.0.CO;2-H](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1034(199612)31:4<393::AID-GJ712>3.0.CO;2-H)
- Bromley RG, Leszczynski S, Uchman A. 1996** Trace fossils indicating bottom aeration changes: Folsz Limestone, Oligocene, Outer Carpathians, [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(95\)00052-6](https://doi.org/10.1016/0031-0182(95)00052-6)
- Bromley RG. 2004;** A stratigraphy of marine bioerosion Geological Society, London, Special Publications Volume 228 Pages 455 – 479 <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2004.228.01>.
- Bromley RG, Ekdale A, David BL 2007;** CHAPTER 35 - Ichnofacies of an Ancient Erg: A Climatically Influenced Trace Fossil Association in the Jurassic Navajo Sandstone, Southern Utah, USA *Trace Fossils* 2007, Pages 562-574 <https://doi.org/10.1016/B978-044452949-7/50161-3>
- Bromley RG & Asgaard U 1993** Endolithic community replacement on a Pliocene rocky coast *An International Journal for Plant and Animal Traces* Volume 2, 1993 - Issue 2 <https://doi.org/10.1080/10420949309380081>
- Breton G. 2011;** Deux nouvelles espèces de crustacés décapodes de l'Albien du Bassin de Paris *33(2):279-284* (2011). <https://doi.org/10.5252/g2011n2a5>
- Breton G. 2017;** Les sclérobiontes des huîtres du Cénomanién supérieur du Mans (Sarthe, France) The sclerobionts of the Upper Cenomanian oysters from Le Mans (Sarthe, France) *Volume 103, Issue 3, July–September 2017, Pages 173-183* <https://doi.org/10.1016/j.annpal.2017.07.001>

Breton G, Wisshak M, Néraudeau D & Morel N. 2017 ; Parasitic gastropod bioerosion trace fossil on Cenomanian oysters from Le Mans, France and its ichnologic and taphonomic context *Acta Palaeontologica Polonica* 62 (1), 2017: 45-57 [doi:https://doi.org/10.4202/app.00304.2016](https://doi.org/10.4202/app.00304.2016)

Blissett DJ & Pickerill RK, 2004 Soft-sediment ichnotaxa from the Cenozoic White Limestone Group, Jamaica, West Indies *Scripta Geologica* , Volume 127 p. 341- 378

Blissett DJ & Pickerill RK, 2004 Observations on bioerosional structures from the White Limestone Group of Jamaica

Blissett DJ & Pickerill RK 2007 Systematic ichnology of microborings from the Cenozoic White Limestone Group, Jamaica, West Indies *Scripta Geologica* , Volume 134 p. 77- 108

Barron EJ & Washington WM 1982 Atmospheric circulation duringe warm geologic periods: Is the equator-to-pole surface-temperature gradient the controlling factor. *Geology (Boulder)*; ISSN 0091-7613; USA; DA. 1982; VOL. 10; NO 12; PP. 633-636; BIBL. 21 REF. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCAL83X0211211>

Basan PB, McCaleb JA, Buxton TS. 1978 Important Geological Factors Affecting The Sloss Field Micellar Pilot Project Paper Number: SPE-7047-MS <https://doi.org/10.2118/7047-MS>

Brongniart A. 1822 [LIVRE] Histoire naturelle des crustacés fossiles, sous les rapports zoologiques et géologiques: savoir Les Trilobites

Berner RA, Raiswell R. 1983 Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over phanerozoic time: a new theory Volume 47, Issue 5, May 1983, Pages 855-862 [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(83\)90151-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(83)90151-5)

Brett Carlton E. 1985 Tremichnus: A New Ichnogenus of Circular-Parabolic Pits in Fossil Echinoderms *Journal of Paleontology* Vol. 59, No. 3 (May, 1985), pp. 625-635 (11 pages) Published By: SEPM Society for Sedimentary Geology

Birchard Mark Christopher. 1987 Late Cretaceous Sponge Borings - Indicators of Salinity and Sedimentation Drumheller, Alberta <http://hdl.handle.net/11375/19386>

Buatois LA & Mángano MG 1995 The paleoenvironmental and paleoecological significance of the lacustrine *Mermia* ichnofacies: An archetypical subaqueous nonmarine trace fossil assemblage Pages 151-161 <https://doi.org/10.1080/10420949509380122>

Bongrain Madeleine 1995 Traces de bioérosion sur unPectinidae (Bivalvia): Du Miocène d'Aquitaine (SO France): Un cas possible de commensalisme entre Pectinidae et Capulidae Bioerosion scars on a Pectinidae (Bivalvia) fromthe Miocene of Aquitaine (SW France): a possible commensalistic relation between Pectinidae and Capululidae Volume 28, Issue 3, 1995, Pages 347-358 [https://doi.org/10.1016/S0016-6995\(95\)80010-7](https://doi.org/10.1016/S0016-6995(95)80010-7)

- Buatois LA, Gabriela M, Mangano Timothy RC. 1999** Sedimentology and Ichnology of Paleozoic Estuarine and Shoreface Reservoirs, Morrow Sandstone, Lower Pennsylvanian of Southwest Kansas, USA <https://doi.org/10.17161/cres.v0i243.11783>
- Boumaza L. 2000** Les Ostreoidea du Crétacé supérieur de l'Algérie. Étude systématique, contexte biostratigraphique et paléobiogéographique
- Buatois LA & Mángano MG. 2011** Timing of infaunalization in shallow-marine early Paleozoic communities in Gondwanan settings: discriminating evolutionary and paleogeographic controls.
- Baucon A , Ronchi A, Felletti F, Neto C. 2014** Evolution of Crustaceans at the edge of the end-Permian crisis: Ichnonetwork analysis of the fluvial succession of Nurra (Permian–Triassic, Sardinia, Italy), Volume 410, 15 September 2014, Pages 74-103, <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.05.034>.
- Bensekhria A, Ramdane M, Yahiaoui A. 2019** Cenomanian and lower Turonian relative chronology and palaeoenvironmental framework of the Nouader site (Aures Basin, Northeastern Algeria) 156 (11): 1877–1891 <https://doi.org/10.1017/S0016756819000153>
- Bel Haouz W, Cristian A, Lagnaoui A. 2019** New bivalve burrows from the mid-Holocene of northeastern Buenos Aires Province (Argentina): ichnotaxonomy and ethology [Volume 32, Issue 1, March 2023, Pages 174-187 https://doi.org/10.1016/j.palwor.2022.05.002](https://doi.org/10.1016/j.palwor.2022.05.002)
- Belaid M, Cherif A, Vinn O, Naimi MN. 2020** First record of trace fossils from the Oxfordian Argiles rouges de Kheneg Formation (Tiaret, northwestern Algeria) [Geologia Croatica, Vol. 73 No. 2, 2020. https://doi.org/10.4154/gc.2020.10](https://doi.org/10.4154/gc.2020.10)
- Benkhedda A, Defaflia N, Cherif A, Naimi MN, Mazouz El, Palma-ramírez, A. 2021** shallow marine trace-fossils from the middle miocene of the tebessa basin (ne algeria) and their paleoenvironmental implications revista Brasileira de Paleontologia, 24(4):323–335, Outubro/Dezembro 2021 A Journal of the Brazilian Society of Paleontology [doi:10.4072/rbp.2021.4.03](https://doi.org/10.4072/rbp.2021.4.03)
- Benyoucef M, Bendella MB, Ferré B, Kočí T, Bouchemla I, Slami R, Ghenim AF. 2021a.** Concentrations de coquilles de bivalves du Pliocène supérieur du bassin du Bas Chélif (NW Algérie): cadre systématique, sédimentologique et taphonomique Concentrations à coquilles de bivalves dans le Pliocène supérieur du bassin du Bas Chélif (NO Algérie): systématique, cadre sédimentologique et taphonomique. Ann Paléontol. 107(4):102–509. [Doi:10.1016/j.annpal.2021.102509](https://doi.org/10.1016/j.annpal.2021.102509).

- Bendella M, Benyoucef M, Mikuláš R, Bouchemla I, Martinell J, Ferré B. 2021.** Ichnoassemblages marins peu profonds à marginaux de la Formation du Pliocène supérieur de Slama (bassin inférieur du Chéelif, nord-ouest de l'Algérie). *Geol Carp.* 72(6) :529–548
- Benyoucef M, Ghenim A-F, Ferré B, Ayoub-Hannaa W, Kočí T, Adaci M, Guendouz M-L, Zaoui D, Bendella M, Bensalah M. 2022.** Taxonomy, palaeoecology and palaeobiogeography of upper Cenomanian (Upper Cretaceous) oysters and plicatulids from southern Algeria. *Hist Biol.* 34 (7):1274–1304. [doi:10.1080/08912963.2021.1974018](https://doi.org/10.1080/08912963.2021.1974018).
- Benton, MJ & Harper. 1997** book reviews, geological magazine, volume 135, issue 6, novembre 1998, PP 819-842 doi: <https://doi.org/10.1017/S001675689835150X>.
- Bassoulet JP. 1973** contribution a l'étude stratigraphique du mésozoïque de l'atlas saharien occidental (algerie) – thèse sc. pa –ris, 2 t., 477 p 50 fig
- Bedatou. 2006** Trazas fósiles de decápodos continentales en el Jurásico y Cretácico de Santa Cruz, Argentina
- Bedatou E, Melchor MR, De Valais S, Genise JF. 2006** Lithofacies distribution of invertebrate and vertebrate trace-fossil assemblages in an Early Mesozoic ephemeral fluvio-lacustrine system from Argentina: Implications for the Scoyenia ichnofacies Volume 239, Issues 3–4, 25 September 2006, Pages 253-285 <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2006.01.011>
- Conrad H. 1852** Description of the fossils of Syria, collected in the Palestine expedition
- Coquand H. 1862** Géologie et paléontologie de la région sud de la province de Constantine. *Mémoire de la Société d'Emulation de Provence*, 2: 1–341.
- Collignon M. 1931** Paléontologie de Madagascar, XVI La faune du Cénomanién à fossiles pyriteux du nord de Madagascar. CRID 1573950399010490752 ID d'article NII 10004466265 ID bibliographique NII AA00529339
- Collignon M. 1965** NOUVELLES AMMONITES NÉOCRÉTACÉES SAHARIENNES Oo i .i .iusion (M.), Céphalopodes Néocrétacés du T in rh e rt (J'czziiin). ,4/J/i. Paléont.t t. X LIII, îîi:>7. p. tu-nr», pi. xvi-xvm.
- Cameron, B. 1969** Paleozoic shell-Boring Annelids and their Trace Fossils *American Zoologist*, Volume 9, Issue 3, August 1969, Pages 689–703, <https://doi.org/10.1093/icb/9.3.689>
- Crimes TP & Harper JC. 1970** Trace fossils 2. 1977, 351 p., ref : dissém ISBN 0902354-09-4 <http://pascalfrancis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=12802969> Crimes T. P, 1975 The Stratigraphical Significance of Trace Fossils *The Study of Trace Fossils* pp 109–130

Crimes TP. 1975 the production and preservation of trilobite resting and furrowing traces
<https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.1975.tb00914.x>

Caldeira K & Rampino MR, 1991. The Mid-Cretaceous Super Plume, carbon dioxide, and global warming <https://doi.org/10.1029/91GL01237>

Chikhi-Aouimeur F. 1998. Distribution paléogéographique des rudistes du Cénomanién moyen à supérieur en Algérie. *Geobios*. 31:93–99. [doi:10.1016/S0016-6995\(98\)80068-5](https://doi.org/10.1016/S0016-6995(98)80068-5)

Claudia Färber Freiwald, Andre 2016 integrating short- and long-term bioerosion processes in the Eastern Mediterranean Sea

Chikhi-Aouimeur F 1998 Sauvagesiinae du Cénomanién supérieur de la région de Berrouaguia (Sud d'Alger, Algérie), Volume 31, Supplement 1, 1998, Pages 101-109
[https://doi.org/10.1016/S0016-6995\(98\)80069-7](https://doi.org/10.1016/S0016-6995(98)80069-7)

Titschack CJ, Schönberg CL, Ehrig K, Boos K, Baum D, Illerhaus B, Asgaard U, Bromley RG, Freiwald A, and Wisshak M. 2016 Long-term macrobioerosion in the Mediterranean Sea assessed by micro-computed tomography Volume 13, issue 11 *BG*, 13, 3461–3474, 2016
<https://doi.org/10.5194/bg-13-3461-2016>

Cherif A, Benyoucef M, Bruno F& Benhamou M. 2018 Etude sédimentologique et ichnologique de la Formation des Argiles de Saïda (Jurassique supérieur) dans les monts de Freneda (Algérie nord-occidentale) *Revue de Paléobiologie*, Genève (juin 2018) 37 (1): 121-135 ISSN 0253-6730 DOI: [10.5281/zenodo.1315455](https://doi.org/10.5281/zenodo.1315455)

Capa M, Parapar J, Nygren A, and Moreira J. 2020 To name but a few: descriptions of five new species of Terebellides (Annelida, Trichobranchidae) from the North East Atlantic *Zookeys*. 2020; 992: 1–58. Doi: [10.3897/zookeys.992.55977](https://doi.org/10.3897/zookeys.992.55977)

Cherif A, Vinn O, Naimi MN. 2021 Bioerosion in *Ostrea lamellosa* shells from the Messinian of the Tafna basin (NW Algeria) DOI [10.2110/carnets.2021.2105](https://doi.org/10.2110/carnets.2021.2105)

Chudeau R. 1909 [LIVRE] Sahara soudanais

Carmona, BN, Cabrera L, María I, BernardoIcon OE, JoseIcon PJ. 2008 Cenozoic trace fossils of the Cruziana, Zoophycos and Nereites ichnofacies from the Fuegian Andes, Argentina

Csámer Á, Elekes Z, Rózsa P, Uzonyi I. 2006 Two-pyroxene geothermometer by using micro-PIXE data. Volume 268 Numero 3

D’Hombres-Firmas, 1838 Mémoire sur les Hippurites et les Sphérulites du département du Gard

D’Orbigny, 1841 [LIVRE] Terrains crétacés

D'Orbigny, 1842 [LIVRE] Paléontologie française. Description zoologique et géologique de tous les animaux mollusques et rayonnés fossiles de France, comprenant leur application

D'Orbigny, 1843 Voyage dans l'Amérique méridionale: le Brésil, la république orientale de l'Uruguay, la république Argentine, la Patagonie, la république du Chili, la republ

Desor É L Agassiz, 1847 [LIVRE] Catalogue raisonné des familles, des genres et des espèces de la classe des échinodermes

Douvillé H. 1916 Les Foraminifères des couches de Rembang Sammlungen des Geologischen Reichs-Museums in Leiden. Serie 1, Beiträge zur Geologie Ost-Asiens und Australiens, Volume 10 - Issue 1 p. 19- 35

Dartevelle E, Freneix S, 1957 Mollusques du Crétacé de la Côte occidentale d'Afrique du Cameroun à l'Angola. II-Lamellibranches.

D'Alessandro & BROMLEY RG 1983 BIOEROSION IN THE PLEISTOCENE OF SOUTHERN ITALY: ICHNOGENERA CAULOSTREPSIS AND MAEANDROPOLYDORA

De Gibert JM, Martinell J, Domenech R. 1998 Entobia ichnofacies in fossil rocky shores, lower Pliocene, northwestern Mediterranean PALAIOS (1998) 13 (5): 476–487. <https://doi.org/10.2307/3515475>

De Gibert JM, Domenech R. , Martinell J. 2007 Bioerosion in shell beds from the Pliocene Roussillon Basin, France: Implications for the (macro)bioerosion ichnofacies model Acta Palaeontologica Polonica 2007 | 52 | 4 |

De Gibert JM, Domènech R, Martinell J. 2012 Chapter 15 - Rocky Shorelines Volume 64, 2012, Pages 441-462 Get rights and content <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53813-0.00015-0>

Donovan. 2001 Evolution of Caribbean echinoderms during the Cenozoic: moving towards a complete picture using all of the fossils Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology Volume 166, Issues 1–2, 1 February 2001, Pages 177-192 [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(00\)00208-X](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(00)00208-X)

Djefal R. 2014 Etude lithostratigraphique et sédimentologique de la série turono-coniacienne du Djebel Ich-Ali –Aurès- et Djebel Tuggurt –Monts de Belezma-Batna-
[URI:http://eprints.univ-batna2.dz/id/eprint/578](http://eprints.univ-batna2.dz/id/eprint/578)

Edward Drinker Cope 1891 [LIVRE] Syllabus of Lectures on Geology and Paleontology: Paleontology of the vertebrata. 1891

Ernst Haeckel 1866 [LIVRE] Generelle morphologie der organismen

Ernst Haeckel 1877 [LIVRE] Anthropogenie oder Entwicklungsgeschichte des Menschen: gemeinverständliche wissenschaftliche Vorträge über die Grundzüge der menschlichen ...

Ekdale AA, Bromley RG, Pemberton SG. 1984. Ichnology: Trace Fossils in Sedimentology and Stratigraphy (Short Course 15). Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Tulsa, Oklahoma. 317 pp.

El kadiri K, El kadiri KE & Rahouti A. 2003 Sédimentologie et ichnologie des calciturbidites du Crétacé supérieur – Oligocène inférieur de la série maurétanienne (nappe des Béni Ider, Rif septentrional, Maroc) : implications paléogéographiques, section Sciences de la Terre, 2003, n° 25, 73-91.

El-Hedeney MM. 2005, Taphonomy and Paleoecology of the Middle Miocene oysters from Wadi Sudr, Gulf of Suez, Egypt Genève (décembre 2005) 24 (2) : 719-733 ISSN 1661-5468

El-Hedeney MM, El-Sabbagh AM. 2005, Eoradiolites liratus (Bivalvia, Radiolitidae) from the Upper Cenomanian Galala Formation at Saint Paul, Eastern Desert (Egypt) Volume 26, Issue 4, August 2005, Pages 551-566 <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2005.02.005>

El-Hedeney MM. 2007 Encrustation and bioerosion on Middle Miocene bivalve shells and echinoid skeletons: Paleoenvironmental implications Genève (décembre 2007) 26 (2): 381-389 ISSN 0253-6730

El-Hedeney MM, El-Sabbagh AM. 2018 Entobia ichnofacies from the Middle Miocene carbonate succession of the northern Western Desert of Egypt journal ISSN: 0208-9068 [DOI10.14241/asgp.2018.002](https://doi.org/10.14241/asgp.2018.002)

El-Hedeney MM, El-Sabbagh AM, Al Farraj S. 2017 Bioerosion and encrustation: Evidences from the Middle – Upper Jurassic of central Saudi Arabia Journal of African Earth

<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.07.016>

El Qot G, Fursich FT, Abdel-Gawad G & HANNAA W. 2009. Taxonomy and palaeoecology of Cenomanian-Turonian (Upper Cretaceous) echinoids from eastern Sinai, Egypt. - *Beringeria* 40: 55-98, 13 text-figs., 5 pls., 1 tab.; Würzburg.

Elicki Olaf, Geyer, Gerd al., 2013 The Cambrian trilobites of Jordan: taxonomy, systematic and stratigraphic significance, *Acta geologica Polonica*, ISSN 0001-5709, E-ISSN 2300-1887, Vol. 63, no 1, p. 1-56 [DOI: 10.2478/agp-2013-0001](https://doi.org/10.2478/agp-2013-0001)

Edinger EN and Risk MJ. 1994 Oligocene-Miocene Extinction and Geographic Restriction of Caribbean Corals: Roles of Turbidity, Temperature, and Nutrients *Vol. 9, No. 6 (Dec., 1994)*, pp. 576-598 (23 pages) <https://doi.org/10.2307/3515129>

Frey RW, Curran A and Pemberton SG. 1984 Tracemaking Activities of Crabs and Their Environmental Significance: The Ichnogenus *Psilonichnus* Vol. 58, No. 2, Trace Fossils and Paleoenvironments: Marine Carbonate, Marginal Marine Terrigenous and Continental Terrigenous Settings (Mar., 1984), pp. 333-350 (18 pages) <https://www.jstor.org/stable/1304788>

Fitton William Henry. 1836 IV.—Observations on some of the Strata between the Chalk and the Oxford Oolite, in the South-east of England. *Transactions of the Geological Society of London Series 2, Volume 4* Pages 103 – 388 <https://doi.org/10.1144/transgslb.4.2.103>

Forbes Edward. 1846 On the Geology of Lycia. *Quarterly Journal of the Geological Society* Volume 2 Pages 8 – 11 <https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1846.002.01-02.06>

Fournel H. 1849 [LIVRE] Richesses minérale de l'Algérie

Ficheur E. 1896. Réunion extraordinaire de la Société géologique en Algérie.-Bull. Soc.

Fourtau R. 1914 [LIVRE] Catalogue des invertébrés fossiles de l'Égypte représentés dan les collections du Geological Museum au Caire

Fourtau R. 1921 Catalogue des invertérbrés fossiles de l'Égypte. Terrains Crétacés–3me partie: Échinoderms (Supplément)

Frey JD, Howard RW. 1975 [LIVRE] The sedimentological significance of trace fossils

Frey JD, Howard RW, Pryor WA. 1978 Ophiomorpha: Its morphologic, taxonomic, and environmental significance Volume 23, 1978, Pages 199-229 [https://doi.org/10.1016/0031-0182\(78\)90094-9](https://doi.org/10.1016/0031-0182(78)90094-9)

Frey JD, Seilacher A. 1980.Uniformity inmarine invertebrate ichnology. Lethaia 13,183–207.

Fursich FT, Palmer TJ, Goodyear KL. 1994 GROWTH AND DISINTEGRATION OF BIVALVE-DOMINATED PATCH REEFS IN THE UPPER JURASSIC OF SOUTHERN ENGLAND Palaeontology ISSN: 0031-0239 Volume 37 Page Numbers 131-171 Web of Science Id WOS: A1994NM96300008

Fiah NM & Lambiase JJ. 2014 Ichnology of shallow marine clastic facies in the Belait Formation, Brunei Darussalam. Bulletin of the Geological Society of Malaysia, Volume 60, December 2014, pp. 55 – 63

Goldfuss GA. 1831 [LIVRE] Beiträge zur kenntnis verschiedener reptilien der vorwelt

Goldfuss GA. 1833 Petrefacta Germaniae [...]. Abbildungen und Beschreibungen der Petrefacten Deutschlands

Guiraud R. 1973. Evolution post-triasique de l'avant pays de la chaine alpine en Algérie, d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Doctorat ès Sciences, Université de Nice; p. 270.

Gill GA, Chikhi F. 1991 Remarks on new occurrences of *Aspidiscus*, a Cenomanian scleractinian coral, in the Persian Gulf and in Algeria. Lethaia. 24(3):349–350. [doi:10.1111/j.1502-3931.1991.tb01485.x](https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.1991.tb01485.x).

Gingras MK, Luis A, Buatois LA, Maceachern J, MAangano MM, Zonnevels JP, Pemberton SG, Netto RJ, Martin A. 2005 Colonization of Brackish-Water Systems through Time: Evidence from the Trace-Fossil Record PALAIOS (2005) 20 (4): 321–347. <https://doi.org/10.2110/palo.2004.p04-32>

Grosheny D, Ferry S, Jati M, Ouaja M, Bensalah M, Atrops F, Chikhi-Aouimeur F, Benkerouf-Kechid F, Negra H, Aït Salem H. 2008 The Cenomanian–Turonian boundary on the Saharan Platform (Tunisia and Algeria) Volume 42, May 2013, Pages 66-84 <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2013.01.004>

Genise JF, Melchor RN, Bellosi ES, Verde M. 2010 Chapter 7 Invertebrate and Vertebrate Trace Fossils from Continental Carbonates Volume 61, 2010, Pages 319-369 [https://doi.org/10.1016/S0070-4571\(09\)06107-X](https://doi.org/10.1016/S0070-4571(09)06107-X)

Goudemand RN, Wasmer M, Bucher H, Hautmann M. 2011 New trace fossil evidence for an early recovery signal in the aftermath of the end-Permian mass extinction [Volume 310, Issues 3–4](#), 1 October 2011, Pages 216-226 <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.07.014>

Hamlin CE. 1884 [LIVRE] Results of an examination of Syrian Molluscan fossils, chiefly from the Range of Mount Lebanon

Hyatt A. 1903 [LIVRE] Pseudoceratites of the Cretaceous

HAQ BILAL U., JAN HARDENBOL, AND PETER R. VAIL 1987 Chronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic SCIENCE 6 Mar 1987 Vol 235, Issue 4793 pp. 1156-1167 [DOI: 10.1126/science.235.4793.1156](https://doi.org/10.1126/science.235.4793.1156).

Herkat M. 1999. La sédimentation de haut niveau marin du Crétacé supérieur de l'Atlas saharien oriental et les Aurès: Stratigraphie séquentielle, analyse quantitative des biocénoses, évolution paléogéographique et contexte géodynamique. Thèse Es Sciences, Université des Sciences et de la Technologie d'Alger; p. 802.

Herkat M. 2004 Contrôle eustatique et paléogéographique de la sédimentation du Crétacé supérieur du bassin des Aurès (Algérie). Bull Soc Géol Fr. 3 (3):273–288 t 175. [doi:10.2113/175.3.273](https://doi.org/10.2113/175.3.273).

Herkat M. 2005 Quantitative analysis of the bioassociations and characterization of the system tracts and paleogeographic zones in the Cenomanian and Turonian series of the Aurès Mountains and eastern Tell (Algeria) Bulletin de la Société Géologique de France (2005) 176 (2): 183–197. <https://doi.org/10.2113/176.2.183>

Herkat M, Kechid F, Ferry S, Grosheny D, Chikhi F, Atrops F & Redjimi W. 2006 Paléogéographie des plates-formes à rudistes sur la bordure algérienne du craton saharien au Cénomaniens-Turonien. Journées J. Philip, Marseille, 2006, Livre des Résumés., p. 19

Herkat M, Guiraud R. 2006. The relationships between tectonics and sedimentation in the Late Cretaceous series of the eastern Atlasic domaine (Algeria). – *J African Earth Sci.* 46(4):346–370. doi:10.1016/j.jafrearsci.2006.06.008.

Herkat M. 2007. Application of correspondence analysis to palaeobathymetric reconstruction of Cenomanian and Turonian (Cretaceous) rocks of Eastern Algeria. – *Palaeogeogr, Palaeoclimatol Palaeoecol.* 254(3–4):583–605. doi:10.1016/j.palaeo.2007.07.011.

Hasiotis TA, Halfen F. 2010 NEOICHOLOGICAL STUDY OF THE TRACES AND BURROWING BEHAVIORS OF THE WESTERN HARVESTER ANT POGONOMYRMEX OCCIDENTALIS (INSECTA: HYMENOPTERA: FORMICIDAE): PALEOPEDOGENIC AND PALEOECOLOGICAL IMPLICATIONS *PALAIOS* (2010) 25 (11): 703–720. <https://doi.org/10.2110/palo.2010.p10-005r>

Huriye Demircan. 2012 Determination of a Late Miocene rocky palaeoshore by bioerosion trace fossils from the Bozcaada Island, Çanakkale, Turkey Détermination d'un paléorivage rocheux du Miocène supérieur par des traces fossiles de bio-érosion dans l'île de Bozcaada, Çanakkale, Turquie *Volume 11, Issue 5, July–August 2012, Pages 331-344* <https://doi.org/10.1016/j.crpv.2011.11.002>

Hitchcock E. 1858 [LIVRE] Ichnology of New England: a report on the sandstone of the Connecticut valley especially its fossil footmarks, made to the Government of the Commonwealth

Harazim D & Duncan M. 2015 Mud-Rich Density-Driven Flows Along an Early Ordovician Storm-Dominated Shoreline: Implications for Shallow-Marine Facies Models *Journal of Sedimentary Research* (2015) 85 (5): 509–528. <https://doi.org/10.2110/jsr.2015.38>

Hoffmann M & Krobicki M. 1989 Oyster buildup within the disaerobic-facies mudstones (Middle Jurassic, Central Poland) - example of benthic island colonization *Annales Societatis Geoloyonim Poloniae* (1989), vol. 59: 299-330PL ISSN 0208-9068

Haneken, Nils-Martin, Uchman A, Jakobsen SL. 2012 Late Pleistocene–early Holocene polychaete borings in NE Spitsbergen and their palaeoecological and climatic implications: an example from the Basissetta area <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.2011.00223.x>

Jones CE & Jenkyns HC. 2001 Seawater Strontium Isotopes, Oceanic Anoxic Events, and Seafloor Hydrothermal Activity in the Jurassic and Cretaceous American Journal of Science February 2001, 301 (2) 112-149; DOI: <https://doi.org/10.2475/ajs.301.2.112>

Jensen JP, Jeppesen E, Søndergaard M, Lauridsen T, Pedersen LJ & Jensen L. 1997 Top-down control in freshwater lakes: the role of nutrient state, submerged macrophytes and water depth *Hydrobiologia* volume 342, pages151–164 (1997)

Jati Mohamed. 2007 Le passage Cénomaniens-Turonien du continent nord-africain (Maroc, Algérie, Tunisie). Comparaison avec le bassin subalpin : apport de la sédimentologie et de la géochimie isotopique / Thèse de doctorat en Sciences de la Terre et de l'univers. Micropaléontologie

Knaust D, Bromley R. 2012 [LIVRE] Trace fossils as indicators of sedimentary environments

Knaust, Ekdale AA, Bromley RG, 2012 Chapter 5 -The ichnofabric concept Developments in Sedimentology Volume 64, 2012, Pages 139-155 <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53813-0.00005-8>

Krapovickas V, Mancuso A, Arcucci A. 2010 Fluvial and eolian ichnofaunas from the Lower Permian of South America (Patquía Formation, Paganzo Basin) *Geologica Acta*, Vol.8, N° 4, December 2010, 449-462 [DOI: 10.1344/105.000001582](https://doi.org/10.1344/105.000001582)

Kazi-Tani. 1986. Evolution géodynamique de la bordure Nord Africaine, le domaine intra plaque nord orientale. Approche méga séquentielle. Thèse Sciences, Université de Pau, 871p.

Kelly SR & Bromley RG. 1984 I CHINOLOGICAL, NO MENCLATURE OR CLAVATE BO RINGS

Veselská KM, Kočí T, Jäger M, Mikuláš R, Heřmanová Z, Morel N, Šamánek J. 2021 Sclerobionts on tubes of the serpulid *Pyrgopolon* (*Pyrgopolon*) *deforme* (Lamarck, 1818) from the upper Cenomanian of Le Mans region, France *Volume 125*, September 2021, 104873 <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2021.104873>

Kennedy WJ & Gale AS. 2015 Late Turonian ammonites from Haute-Normandie, France *agp-2015-0022* *Vol. 65, no. 4* *Strony 507—524* [DOI 10.1515/](https://doi.org/10.1515/)

Książkiewicz M, 1977 TRACE FOSSILS IN THE FLYSCH OF THE POLISH CARPATHIANS.<http://pascalfrancis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCALGEODEBRGM7820167181>

Kantimati Kulkarni. 2017 Isolation of a Halophilic, Bacteriorhodopsin-producing Archaeon, *Haloferax larsenii* RG3D.1 from the Rocky Beach of Malvan, West Coast of India Pages 242-248 | Received 01 Aug 2015, Accepted 01 Apr 2016, Accepted author version posted online: 24 May 2016, Published online: 16 Aug 2016 <https://doi.org/10.1080/01490451.2016.1179365>

Kočí T. 2012 Sabellidae and Serpulidae (Polychaeta, Canalipalpata) from the locality Kaňk – Na Vrších in Kutná Hora (Upper Cenomanian – Lower Turonian, Bohemian Cretaceous Basin – the Czech Republic). *Act Mus Nat Prag, Ser B, Hist Nat.* 68(1–2):7–14.

Kočí T, Jäger M, Morel N. 2017 Sabellid and serpulid worm tubes (Polychaeta, Canalipalpata, and Sabellida) from the historical stratotype of the Cenomanian (Late Cretaceous; Le Mans region, Sarthe, France). *Ann Paléontol.* 103(1):45– 80. [doi:10.1016/j.annpal.2016.11.004](https://doi.org/10.1016/j.annpal.2016.11.004).

Kara Ahmed I, Salmi-Laouar S, Veselská MK, Mikuláš R, Kočí T, Ferré B, Naimi MN and Váchová L. 2022 Sclerobiont assemblages on macro-invertebrates from the Cenomanian strata of Djebel Bouarif (Aurès Range, Algeria), *Historical Biology An International Journal of Paleobiology-* <https://doi.org/10.1080/08912963.2022.2136032>

Laffite R. (1939). Etude géologique de l'Aurès. *Bulletin du Service de la Carte géologique de l'Algérie*, 15: 1–484.

Larson RL & Erba E. 1999. Onset of the mid-Cretaceous greenhouse in the Barremian–Aptian: igneous events and the biological, sedimentary, and geochemical responses. *Paleoceanography*, 14: 663- 678. <https://doi.org/10.1029/1999PA900040>

Lasseur É, Bourguine B, Leynet A, Badinier G, Ortega C, Issautier B & Bouchet V. 2016 Building a Geological Reference Platform Using Sequence Stratigraphy Combined with Geostatistical Tools Part of the *Quantitative Geology and Geostatistics* book series (QGAG, volume 19)

Larson TE, Loucks RG, Zheng CH, Zahm CK, Lucy T, Sivil JE, Sheng P, Ruppel SC, Ambrose WA. 2020 Geologic characterization of the type cored section for the Upper Cretaceous Austin Chalk Group in southern Texas: A combination fractured and unconventional reservoir *AAPG Bulletin* (2020) 104 (10): 2209–2245. <https://doi.org/10.1306/04222019197>

- Li-Jun Z, Qi YA, Buatois LA, Mángano MG, Meng Y & Li D. 2017** The impact of deep-tier burrow systems in sediment mixing and ecosystem engineering in early Cambrian carbonate settings [Scientific Reports](#) volume 7, Article number: 45773 (2017)
- López-Gómez J, Martín-Chivelet J, Ricardo MP, Kietzmann DA. 2011** Earthquake-induced soft-sediment deformation structures in Upper Jurassic open-marine microbialites (Neuquén Basin, Argentina) *Sedimentary Geology* Volume 235, Issues 3–4, 1 April 2011, Pages 210-221 <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2010.09.017>
- Laffitte. 1939** Etude géologique de l'Aurès
- Lamarck. 1801** Système des animaux sans vertèbres. Deterville, Paris, 432 pp.
- Lamarck. 1806** Mémoires sur les fossiles des environs de Paris
- Lamarck. 1809** Explication des planches relatives aux coquilles fossiles des environs de Paris: *Annales du Muséum d'Histoire naturelle de Paris*, 14, 374-375.
- Lambert J. 1931-1932** Etude sur les échinides fossiles du nord de l'Afrique. *Mémoires de la Société Géologique de France* 16: 1-228.
- Louis Agassiz. 1841** Monographies d'Échinodermes vivans et fossiles. Échinites. Famille des Clypéasteroides. 2 (Seconde Monographie). Des Scutelles A translation of Agassiz, L. 1841. Monographies d'Échinodermes vivans et fossiles. Échinites. Famille des Clypéasteroides. 2 (Seconde Monographie). Des Scutelles
- Leymerie A. 1842** Suite du mémoire sur le terrain crétaé du Département de l'Aube. Seconde Partie *Mém Soc Geol F.* 5:1–34.
- Leinfelder R, Nose M, Schmid DU & Werner W. 1993** Microbial crusts of the late Jurassic: Composition, palaeoecological significance and importance in reef construction *Facies* volume 29, pages195–229 (1993)
- Michael A, Dean W & Pratt LM. 1988** Geochemical and climatic effects of increased marine organic carbon burial at the Cenomanian/Turonian boundary *Nature* volume 335, pages714–717 (1988) Cite this article, published: 20 October 1988
- Michaut M. 2018** Ichnofossiles du Maastrichtien, sites du Niger
- Murray GK, Baniak G, Gordon J, Hovikoski J, Konhauser KO, La Croix A, Lemiski R, Mendoza C, Pemberton SG, Polo C, Zonneveld JP. 2012** Chapter 27 - Porosity and Permeability in Bioturbated Sediments Volume 64, 2012, Pages 837-868 <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53813-0.00027-7>

- MacEachern JA, Bann KL, Pemberton SG, Gingras MK. 2007** the Ichnofacies Paradigm: High-Resolution Paleoenvironmental Interpretation of the Rock Record <https://doi.org/10.2110/pec.07.52.0027>
- Maples GC & West RR. 1992** [LIVRE] [Trace fossils](#)
- Melchor RN, Cardonatto MC, Visconti G. 2012** Palaeoenvironmental and palaeoecological significance of flamingo-like footprints in shallow-lacustrine rocks: An example from the Oligocene–Miocene Vinchina Formation, Argentina Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology Volumes 315–316, 15 January 2012, Pages 181-198 <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.12.005>
- Maandi N. 2011** thèse/ Biostratigraphie et paléoenvironnements du crétacé moyen des Aurès et de Morsott.
- Marmi R. 1995** Les bassins continentaux de l'avant-pays de la chaîne alpine d'Algérie nord orientale. Etudes stratigraphiques, sédimentaires, structurales et
- Morrow. 1935** Cephalopods from the Upper Cretaceous of Kansas [Vol. 9, No. 6 \(Sep., 1935\)](#), pp. 463-473 (16 pages)
- Miller Brent V. Scott D. Samson; Richard S. D'Lemos; Michael A. Hamilton 2005** Neoproterozoic palaeogeography of the Cadomia and Avalon terranes: constraints from detrital zircon U–Pb ages Journal of the Geological Society (2005) 162 (1): 65–71. <https://doi.org/10.1144/0016-764904-003>
- Marred. 2022** *Gastrochaenolites ornatus* Kelly and Bromley and other trace fossils on a Middle Miocene omission surface from the Aures Massif, Algeria [Volume 133, Issue 3](#), June 2022, Pages 218-226 <https://doi.org/10.1016/j.pgeola.2022.04.004>
- Mikuláš R, Kočí T, Šamánek J, Jäger M, Heřmanová Z, Bruthansová J. 2022** Domichnial borings in Serpulid tube walls: prosperous benthic assemblages in the Cretaceous of France and the Czech Republic. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 10. [doi:10.3389/fevo.2022.882450](https://doi.org/10.3389/fevo.2022.882450).
- Martinell J, De Gibert JM, Domènech R. 1995** The rosetted feeding trace fossil *Dactyloidites otto* (Geinitz) from the Miocene of Catalonia La trace fossile d'alimentation *Dactyloidites otto* (Geinitz) dans le Miocène de Catalogne, *Geobios* Volume 28, Issue 6, 1995, Pages 769-776 [https://doi.org/10.1016/S0016-6995\(95\)80073-5](https://doi.org/10.1016/S0016-6995(95)80073-5)
- Mikuláš R, Kadlecová E, Fejfar O, Dvořák Z. 2006.** Three new ichnogenera of biting and gnawing traces on reptilian and mammalian bones: a case study from the Miocene of the Czech Republic. *Ichnos*. 13(3):113–127. Checklist dataset. [Doi:10.15468/39omei](https://doi.org/10.15468/39omei).

Michael W, Lothar RH, Vallon R, Salvador B. 2016 Perforations of Freshwater Snail Shells from the Miocene of Germany: *Nihilichnus covichi* n. isp. Pages 222-227
<https://doi.org/10.1080/10420940.2016.1164154>

Mángano GM, Buatois LA & Guinea FM. 2005 Ichnology of the Alfarcito Member (Santa Rosita Formation) of northwestern Argentina: animal-substrate interactions in a lower Paleozoic wave-dominated shallow sea
<http://www.scielo.org.ar/img/revistas/ameg/v42n4/html/v42n4a01.htm>

Noetling F. 1897 Note on a Worn Femur of Hippopotamus Irravadicus, Caut. and Falc. from the Lower Pliocene of Burma

Nihilichnus Mikuláš. 2006, Three New Ichnogenera of Biting and Gnawing Traces on Reptilian and Mammalian Bones: A Case Study from the Miocene of the Czech Republic
<https://doi.org/10.1080/10420940600850729>

Nilsson S. 1827 [LIVRE] Petrificata Suecana formationis cretaceæ, descripta et iconibus

Pemberton SG. 1992 [LIVRE] Applications of ichnology to petroleum exploration

Pemberton SG, Frey RW, Ranger MJ, MacEachern J. 1992 The conceptual framework of ichnology

Pemberton SG, Wightman DM. 1992 Ichnological characteristics of brackish water deposits

Pickerill RK & Simon F. 1999 The graphoglyptid trace fossil *Spirorhaphé involuta* (de Stefani, 1895) from eastern Jamaica The Journal of the Geological Society of Jamaica Vol. 33, pp. 13 to 16, 1999

Péron Alphonse. 1879 - 1881 Echinidés fossiles de l'Algérie, description des espèces déjà recueillies dans ce pays et considérations sur leur position stratigraphique,

Péron Alphonse. 1877 Observations sur la faune des Calcaires à Echinides de Rennes-les-Bains et sur quelques fossiles du terrain crétacé supérieur

Popenoë. 1937 Upper Cretaceous Mollusca from Southern California Journal of Paleontology Vol. 11, No. 5 (Jul., 1937), pp. 379-402 (29 pages) Published By: SEPM Society for Sedimentary Geology

Péron A. 1877. Observations sur la faune des calcaires à Echinides de Rennes-les Bains et sur quelques fossiles du terrain Crétacé Supérieur. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 3(5): 499-535.

Pervinquière L. 1907. Études de paléontologie tunisienne. 1. Céphalopodes des terrains secondaires. Carte Géologique de la Tunisie, 438 pp.

- Péron A & Fourtau R. 1904** Notes sur les Echinides fossiles d’Égypte Bulletin de l’institut d’Égypte Année 1904 5 pp. 121-140
- Pervinquière L. 1912** Études de paléontologie tunisienne. II. Gastéropodes et Lamellibranches des terrains Crétacés. Mémoires de la Carte Géologique de la Tunisie, F. -R- de Rudeval, Paris, 352 pp.
- Péron A, Gauthier VA, Cotteau G. 1878** [LIVRE] Échinides fossiles de l’Algérie: description des espèces déjà recueillies dans ce pays et considérations sur leur position stratigraphique. Etage Cénomanién
- Pickerill R & Donovan S. 1998** Ichnology of the Late Pleistocene Port Morant Formation of Southeastern Jamaica , No. 1–2, 12–32, 1998
- Perkins T-H. 1991** Calcisabellapilosea, a new genus and species of Sabellinae (Polychaeta: Sabellidae. Bull Mar Sci. 48(2):261–267
- Pickerill R, Donovan KS, Ron K, Portell RW. 2002** A late Cenozoic ‘root bed’, an unconformity and the tectonic history of Carriacou, The Grenadines, Lesser Antilles [Proceedings of the Geologists' Association Volume 113, Issue 3](#), 2002, Pages 199-205 [https://doi.org/10.1016/S0016-7878\(02\)80023-2](https://doi.org/10.1016/S0016-7878(02)80023-2)
- Parsons & Brett. 1991** Actuopaleontology: The strength of its limitations Vol. 44, No. 4, pp. 452-454, Warszawa 1999
- Parcha SK & Pandey S. 2011** Ichnofossils and their significance in the Cambrian successions of the Parahio Valley in the Spiti Basin, Tethys Himalaya, India Journal of Asian Earth Sciences Volume 42, Issue 6, 11 November 2011, Pages 1097-1116 <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.04.028>
- Parcha SK & Pandey S. 2011** Devonian Ichnofossils from the Farakah Muth Section of the Pin Valley, Spiti Himalaya Journal of the Geological Society of India volume 78, pages263–270
- Portlock JE 1843.** Report on the geology of the county of Londonderry, and parts of Tyrone and Fermanagh. A. Milliken, Dublin & London, 1–784.
- Pleydell SM & Brian J 1988** Boring of various faunal elements in the Oligocene-Miocene Bluff Formation of Grand Cayman, British West Indies
- Rodríguez-Tovar & Hernández-Molina. 2018** Ichnological analysis of contourites: Past, present and future Earth-Science Reviews Volume 182, July 2018, Pages 28-41 <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.05.008>

Rodriguez-Tovar & Alfred Uchman 2004 Trace fossils after the K–T boundary event from the Agost section, SE Spain Geological Magazine (2004) 141 (4): 429–440.

<https://doi.org/10.1017/S0016756804009410>

Rashwan M, Jäger M, Vinn O, El Hedeny M. 2019 Sclerobiont assemblages on the late Eocene bivalve *Carolia placunoides*: Composition, distribution and their paleoecological significance Proceedings of the Geologists' Association Volume 130 Pages 612-623

Redjimi-Bourouib. 2002 Thèse/ Etude paleontologique des ammonites du cretace superieur de l'Algérie. Systématique, biostratigraphie et paleogeographie

Roemer AS. 1849 Louis Agassiz Vol. 181, No. 1 (July 1949), pp. 48-51 (4 pages) Published By: Scientific American, a division of Nature America, Inc

Radwański A. 1964 Boring animals in Miocene littoral environments of southern Poland: Bulletin de l'Académie Polonaise des Sciences, Série des Sciences Géologique et Géographique, v. 12, p. 57–62.

Rodriguez & Gutschick. 1970 Late Devonian-early Mississippian ichnofossils from western Montana and northern Utah

Mayoral. 1987 Acción bioerosiva de Mollusca (Gastropoda, Bivalvia) en el Plioceno inferior de la Cuenca del Bajo Guadalquivir 2, 49-58

Ramsdale R. 2021 A possible serpulid tube worm of the genus *Filograna* from the upper Permian Cadeby Formation of South Yorkshire, UK. Proc Yorks Geol Soc. 63(3). [Doi: 10.1144/pygs2020-016](https://doi.org/10.1144/pygs2020-016).

Rashwan M, El-Sabbagh A, El Hedeny M, Vinn O, Mansour H. 2022 Taphonomy and its significant role in palaeoenvironmental reconstruction of the upper Turonian actaeonellid gastropod concentrations of Abu Roash, Western Desert. Egypt Lethaia. 55(1):1–18. doi:10.18261/let.55.1.8.

Radwanski A. 1970. Dependence of rock-borers and burrowers on the environmental conditions within the Tortonian littoral zone of Southern Poland. In: Crimes, T.P., Harper, J.C. (Eds.), Trace Fossils 2: Geological Journal Special Issues 9, pp. 227–264.

Rasser MW, Vallon L-H, Salvador R-B. 2016 Perforations of Freshwater Snail Shells from the Miocene of Germany: *nihilichnus covichi* n. ISP. Ichnos. 23(3– 4):222–227. [doi:10.1080/10420940.2016.1164154](https://doi.org/10.1080/10420940.2016.1164154).

Rajkonwar C, Zochhuana VR, Lianthangpui PC, Tiwari P and PATEL SJ. 2014 Miocene ichnofossils from upper bhuban succession, bhuban formation (surma group), mizoram, india, special publication of the palaeontological society of india No. 5; February, 2014; ISBN: 978-81-926033-2-2; pp. 247-255

Sinton CW & Duncan RA. 1997 Potential links between ocean plateau volcanism and global ocean anoxia at the Cenomanian-Turonian boundary Economic Geology (1997) 92 (7-8): 836–842. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.92.7-8.836>

Slami R. 2014 Biostratigraphie et Paléoenvironnement de la limiteCénomano- Turonienne de la région de Batna, à partir de l'étude de la faune et la microfaune. Mémoire de Magister, Université Hadj Lakhdar. Batna: 229.

Slami R, Salmi-Laouar S, Ferré B, Aouissi R, Benkherouf-Kechid F. 2018 Biostratigraphie, géochimie et réponse des composantes microfauniques aux variations environnementales au passage Cénomaniens-Turonien à Théniet El Manchar (Monts de Bellezma, Batna, NE Algérie). Estud Geol. 74:0367–0449. [doi:10.3989/egeol.43039.472](https://doi.org/10.3989/egeol.43039.472)

Salmi-Laouar S, Aouissi R, Ferré B. 2019 Abondance d'Aspidiscus cristatus (Lamarck) dans la Formation "Marnes de Smail" de la région de Batna (NE-Algerie): une espèce caractéristique pour le Cénomaniens moyen. Carnets de géologie 19. [doi:10.4267/2042/70294](https://doi.org/10.4267/2042/70294)

Seilacher A. 2007 ; LIVRE] Trace fossil analysis

Seilacher A. 1967 Fossil Behavior Vol. 217, No. 2 (August 1967), pp. 72-83 (12 pages)

Seilacher. 1953 Studien zur Palichnologie. II. Die fossilen Ruhespuren (Cubichnia). Neu. Jahrb. Geol. Palaeont.

Seilacher. 1964 iogenic sedimentary structurent

Sharpe D. 1855 Description of the fossil remains of Mollusca found in the chalk of England. Part II. Cephalopoda Pages 27-35 <https://doi.org/10.1080/02693445.1855.12088372>

Sharpe D. 1849 On the Geology of the neighborhood of Oporto, including the Silurian Coal and Slates of Vallongo Quarterly Journal of the Geological Society Volume 5 Pages 142 – 153 <https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1849.005.01-02.26>

Sharpe D. 1850 On the Secondary District of Portugal which lies on the North of the Tagus Quarterly Journal of the Geological Society Volume 6 Pages 135 – 201 <https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1850.006.01-02.>

Saint-Seine. 1954 Existence de cirripedes acrothoraciques des le Lias; Zapfella pattei Nov. gen., Nov. Sp

Stachacz M. 2012 ; ICHNOLOGY OF CZARNA SHALE FOR MA TION (CAM BRIAN, HOLY CROSS MOUN TAINS, PO LAND) Annales Societatis Geologorum Poloniae (2012), vol. 82: 105–120

Sartoretto S. 1998 ; Bioérosion des concrétions coralligènes de Méditerranée par les organismes perforants: essai de quantification des processus Bioerosion of Mediterranean ‘coralligène’ concretions by boring organisms: assay of quantification of processes Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science Volume 327, Issue 12, December 1998, Pages 839-844 [https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(99\)80059-7](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(99)80059-7)

Seuss B, Abdelhady A & Hassan HF. 2019 Stratigraphic ranking of selected invertebrate fossils: A quantitative approach at different temporal and geographic scales Article number: 22.2.51 <https://doi.org/10.26879/912> Paleontological Society

Savornin J. 1920 Etude géologique de la région du Hodna et du plateau sétifien

Seguenza G. 1882 Studii geologici e paleontologici sul cretaceo medio dell'Italia meridionale

Spath LF. 1926 A Monograph of the Ammonoidea of the Gault. Part IV. Pages 147–186; Plates XIII–XVI Pages 147-186 <https://doi.org/10.1080/02693445.1926.12035596>

Schindewolf OH. 1951 GEOLOGISCHE ZEIT UND ORGANISCHE ENTWICKLUNG Volume162, Issue2 March 1951 Pages 134-140 <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1951.tb00605.x>

Salahi A, El Hedeny M, Vinn O, Rashwan M. 2018 Sclerobionts on organic substrates from the Late Paleocene Chehel-Kaman Formation, Kopet-Dagh Basin, NE Iran [DOI 10.14241/asgp.2018.022](https://doi.org/10.14241/asgp.2018.022)

Sklenář J, Kočí T, Jäger M. 2013 Late Turonian polychaete communities recorded in the hemipelagic sediments of Bohemian Cretaceous Basin (Teplice Formation, Ohře and Dresden districts). *Bull Geosci.* 88(3):675– 695. [doi:10.3140/bull.geosci.1412](https://doi.org/10.3140/bull.geosci.1412).

Sanfilippo R, Rosso A, Reitano A, Insacco G. 2017. First record of sabellid and serpulid polychaetes from the Permian of Sicily. *Acta Palaeontol Pol.* 62 (1):25–38. [doi:10.4202/app.00288.2016](https://doi.org/10.4202/app.00288.2016).

Seilacher A, Olivero EB, Butts SH, Jäger M. 2008. Soft-bottom tube worms: from irregular to programmed shell growth. *Lethaia.* 41(4):349–365. [Doi:10.1111/j.1502-3931.2008.00092.x](https://doi.org/10.1111/j.1502-3931.2008.00092.x).

Santos A, Mayoral E, Fernando M. 2003 Nouvelles traces fossiles produites par gravure de mollusques du Néogène supérieur du sud-ouest.

Sowerby C. 1813 The Mineral Conchology of Great Britain, Volume 2, 33–96

Sowerby C. 1827 The Mineral Conchology of Great Britain, vol. 6, parts 94-95

Sowerby C. 1832 A sketch of the structure of the Eastern Alps

Sowerby C. 1812–1814. Mineral Conchology of Great Britain, vol I. B. London: Meredith

Sowerby C. 1823 Parts 67-70. pp. 115-148, pls. 384-407 in Sowerby, J. de C. Mineral Conchology. London : J. de C. Sowerby. Vol.4

Tribollet A & Payri C. 2001 Bioerosion of the coralline alga *Hydrolithon onkodes* by microborers in the coral reefs of Moorea, French Polynesia Bioerosion de l'algue corallinacée *Hydrolithon onkodes* par des microperforants dans les récifs coralliens de Moorea en Polynésie française. [Actes océanologiques Tome 24, Numéro 4](#), juillet–août 2001, pages 329-342. [10.1016/S0399-1784\(01\)01150-1](https://doi.org/10.1016/S0399-1784(01)01150-1)

Taylor PD & Wilson MA. 2002 Une nouvelle terminologie pour les organismes marins vivant sur des substrats durs, *PALAIOS* (2002) 17 (5): 522–525 [https://doi.org/10.1669/0883-1351\(2002\)017<0522:ANTFMO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1669/0883-1351(2002)017<0522:ANTFMO>2.0.CO;2)

Thomas P & Peron A. 1889-90. Description des mollusques fossiles des Terrains Crétacés de la région sud des hauts-plateaux de la Tunisie recueillis en 1885 et 1886 – Exploration Scientifique de la Tunisie. – 405pp.; Paris (Imprimerie Nationale).

Edinger EN et Risk MJ, 1994 Extinction oligocène-miocène et restriction géographique des coraux des Caraïbes : rôles de la turbidité, de la température et des nutriments, PALAIOS

[Vol. 9, n° 6 \(décembre 1994\)](#), p. 576-598 (23 pages) Publié par : Société SEPM de géologie sédimentaire

Talpina von Hagenow. 1840 Monographie der Rügen'schen Kreideversteinerungen, II. Abtheilung: Radiarien und Annulaten nebst Nachträgen zur ersten Abtheilung. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde 7: 630–672.

Uchman A, Demircan H, Toker V, Derman AS, Sevim S & Szulc J 2002 Relative sea-level changes recorded in borings from a miocene rocky shore of the mut basin, southern turkey, Annales Societatis Geologorum Poloniae (2002), vol. 72: 263-270.

Uchman A, Stachacz M, Salamon K. 2018 *Spirolites radwanskii* n. igen. n. isp.: vermetid gastropod attachment etching trace from the middle Miocene rocky coast of the Paratethys, Poland. J Paleontol. 92(5):1–13. doi:10.1017/jpa.2017. 95.

Uchman. A & Wetzel A. 2012 Chapitre 21 - Fans des profondeurs, [Développements en sédimentologie, Tome 64](#), 2012 , Pages 643-671.

Vail PR, Mitchum Jr, Thompson S. 1977 Stratigraphie sismique et changements globaux du niveau de la mer, partie 3: changements relatifs du niveau de la mer à partir de la côte, Association américaine des géologues pétroliers, Volume 26, <https://doi.org/10.1306/M26490>

Vinn O. 2021 Biomineralization in polychaete annelids: a review. Minerals. 11 (10):1151. doi:10.3390/min11101151. Vinn O, Nadir N-M, Cherif A. 2021. The endobiontic serpulids in corals and other reef associated fauna from the Messinian of Algeria. N Jahrb Geol Paläontol Abh. 300(2):235–244. [doi:10.1127/njgpa/2021/0987](https://doi.org/10.1127/njgpa/2021/0987).

Vinn O, Ernst A, Toom U. 2018a. Bioclaustrations in Upper Ordovician bryozoans from northern Estonia. Neues Jahrb Geol Paläont Abh. 289:113–121.

Vinn O, Ernst A, Toom U. 2018b. Symbiosis of cornulitids and bryozoans in the Late Ordovician of Estonia (Baltica). Palaios. 33:290–295.

Vila J-M. 1977. Carte géologique de l'Algérie au 1/200 000, feuille de Constantine (P-Q; 3-4), avec notice explicative détaillée, publ. Comm. Serv. Carte géol. Algérie/SONATRACH, not. Expl. Détaillée: 45pp.

Vila JM.1980 Thèse de doctorat es-sc. Nat. Paris VI, France.

Voigt E. 1965. Überparasitische Polychaeten in Kreide-Austern sowie einige andere in Muschelschalen bohrende Würmer. *Paläontol Z.* 39(3–4):193– 211. [doi:10.1007/BF02990164](https://doi.org/10.1007/BF02990164).

Voigt E. 1970. Foraminiferen und (?) Phoronidea als Kommensalen auf den Hartgründen der maastricht Tuffkreide.- *Paläontologische Zeitschrift, Stuttgart*, vol. 44 n°1/2, p. 86-92.

Voigt E. 1972. Über *Talpina ramosa* v. HAGENOW 1840, ein wahrscheinlich zu den Phoroniden gehöriger Bohrorganismus aus der Oberen Kreide, nebst Bemerkungen zu den übrigen bisher beschriebenen kretazischen 'Talpina'-Arten.- *Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen, (II. Mathematisch-physikalische Klasse)*, vol. 1972, p. 93-126.

Voigt E. 1975. Studies of marine mollusca from archaeological sites: dietary preferences, environmental reconstructions and ethnological parallels

Voigt E. 1978 Phoronidenbaue (*Talpina ramosa* v. HAGENOW) aus der maastricht Tuffkreide.- *Natuurhistorisch Genootschap in Limburg, Roermond*, vol. 28, p. 3-6.

Vinn O, Ten Hove HA, Mutvei H. 2008. On the tube ultrastructure and origin of calcification in sabellids (Annelida, Polychaeta). *Palaeontology.* 51(2):295– 301. [doi:10.1111/j.1475-](https://doi.org/10.1111/j.1475-)

Vinn O, Toom U. 2016. A sparsely encrusted hardground with abundant *Trypanites* borings from the Llandovery of the Velise River, western Estonia (Baltica). *Est J Earth Sci.* 65(1):19– 26. [doi:10.3176/earth.2016.01](https://doi.org/10.3176/earth.2016.01).

Venturini G, Régis D, Engi M. 2015 Géologie de la vallée de Scalero – Zone Sesia (Alpes occidentales italiennes), *Journal des cartes*, Volume 12, 2016 - Numéro 4.

Verneuil E, Lorière G. 1868 Description des fossiles du néocomien supérieur de Utrillas et ses environs

Weisert H, Lini A, Föllmi KB, Kuhn O. 1989 Corrélation entre la stratigraphie isotopique du carbone du Crétacé inférieur et les événements de noyade de plate-forme : un lien possible ? *Paléogéographie, Paléoclimatologie, Paléoécologie*, Volume 137, Numéros 3–4, mars 1998, pages 189-203. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(97\)00109-0](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(97)00109-0).

Wilson PA & Norris RD, 2001 Surface océanique tropicale chaude et anoxie globale au milieu du Crétacé, *Nature* volume 412, pages 425–429

Wysocka A. 2009. Sedimentary environments of the Neogene basins associated with the Cao Bang-Tien Yen Fault, NE Vietnam. *Acta Geologica Polonica*, 59, 45–69.

Wysocka A, Pha DP, Durska E, Czarniecka U, Thang DV, Filipek A. 2018. New data on the continental deposits from the Cao Bang Basin (Cao Bang-Tien Yen Fault Zone, NE Vietnam) Biostratigraphy, provenance and facies pattern. *Acta Geologica Polonica*, 68(4), 689–709. <https://doi.org/10.1515/agp-2018-0037>

Wishak M, Titschack J, Kahl WA et Girod P 2017 Traces fossiles de bioérosion classique et nouvelle dans les gorges de bélemnite du Crétacé caractérisées par micro-CT, [Tome 20, numéro 2](#), FR, 20, 173–199, 2017. <https://doi.org/10.5194/fr-20-173-2017>

Wisshak M, Knaust D, Bertling. 2019 Ichnotaxons de bioérosion: revue et liste annotée, *Faciès* volume 65, Numéro d'article: 24 (2019).

Wisshak M. 2008 Two new dwarf *Entobia* ichnospecies in a diverse aphotic ichnocoenosis (Pleistocene / Rhodes, Greece) *Current Developments in Bioerosion* pp 213–233
Norris et al., 2002 Testing the Cretaceous greenhouse hypothesis using glassy foraminiferal calcite from the core of the Turonian tropics on Demerara Rise *Geology* (2002) 30 (7): 607–610. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2002\)030<0607:TTCGHU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2002)030<0607:TTCGHU>2.0.CO;2)

Youcef EHY, Chadi M, Djeflal R. 2018 La Plate-forme Sud Sétienne au Jurassique: Dynamique Sédimentaire et Paléoenvironnements

Yahiaoui A. 1990a. La partie inférieure de la série marno-calcaire du Crétacé Supérieur (Cénomaniens supérieur à Coniacien inférieur) entre Batna et El Kantara (Algérie orientale): stratigraphie, Sédimentologie et Paléogéographie, Thèse de Doctorat. Université de Nancy. I:207.

Yahiaoui A. 1990b. La partie inférieure de la série marno-calcaire du Crétacé Supérieur (Cénomaniens supérieur à Coniacien inférieur) entre Batna et El Kantara (Algérie orientale): stratigraphie, Sédimentologie et Paléogéographie. Université de Nancy; p. 207.

Zubia M & Peyrot-Clausade M, 2001 Internal bioerosion of *Acropora formosa* in Réunion (Indian Ocean): microborer and macroborer activities Bioérosion interne d'*Acropora formosa* (île de la Réunion, océan Indien) : activité des micro- et des macro-organismes perforants.

[Volume 24, Issue 3](https://doi.org/10.1016/S0399-1784(01)01144-6), May–June 2001, Pages 251-262 [https://doi.org/10.1016/S0399-1784\(01\)01144-6](https://doi.org/10.1016/S0399-1784(01)01144-6)

Ziko A, Darwish M, Eweda S. 1993 Late Cretaceous - Early Tertiary stratigraphy of the Themed area, East Central Sinai, Egypt p. 135 – 149 [DOI: 10.1127/njgpm/1993/1993/135](https://doi.org/10.1127/njgpm/1993/1993/135)

Zakhera MS, Kassab AS. 2002 Upper Cretaceous oysters from the northern part of the Eastern Desert, Egypt p. 1 – 30 [DOI: 10.1127/njgpa/224/2002/1](https://doi.org/10.1127/njgpa/224/2002/1)