

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA
FACULTÉ DES HYDROCARBURES, DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES
SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS



Mémoire de Master Académique

Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers
Filière : Géologie
Spécialité : Géologie Des Bassins Sédimentaires

THEME

**Apport des macrofaunes du Crétacé supérieur à la reconstitution
paléoenvironnementale de la région de Biskra (Algérie)**

Présenté par :
BADACHE Dina

Soutenu publiquement le 10/06/2026

Devant le jury :

Président :	BENSIR Fateh	MCB	Univ Ouargla
Promoteur :	BENKHEDDA Abdelhakim	MCB	ENS Ouargla
Examineur :	SAHRAOUI Salah	MAA	Univ Ouargla

Année Universitaire : 2025/2026

Dédicace

*Je dédie ce travail à ma chère mère,
qui a toujours été mon véritable soutien par ses prières et ses encouragements,
et sans qui je n'aurais jamais atteint ce stade.*

*À mon père, que Dieu ait son âme,
dont l'absence se fait ressentir à chaque pas,
et que j'aurais tant voulu voir présent pour contempler le fruit de cet effort.
Que Dieu lui accorde Sa miséricorde et l'accueille dans Son vaste paradis.*

*Je remercie Dieu Tout-Puissant,
qui m'a facilité le chemin, m'a accordé la réussite et m'a donné la force d'achever
ce travail.*

*À mes amis proches (A) , (A) et (H),
qui ont été à mes côtés dans les moments difficiles avant les faciles, et qui ont eu
un grand impact en me soutenant moralement.*

*À mon professeur encadrant, Monsieur BENKHEDDA Abdelhakim,
qui m'a accompagné par ses conseils et ses orientations, et qui a joué un rôle
important dans la réalisation de ce travail.*

Remerciements

*Tout d'abord, je remercie Allah Tout-Puissant,
qui m'a accordé la réussite, facilité les conditions et donné la capacité d'achever
ce travail.*

*Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude à mon encadrant, Monsieur
BENKHEDDA Abdelhakim,
pour son soutien, ses orientations précieuses et sa disponibilité tout au long de ce
travail.*

*Je remercie également tous les enseignants
qui ont contribué à ma formation académique et ont joué un rôle dans mon
parcours.*

*Enfin, je remercie toutes les personnes qui m'ont soutenue et encouragée,
même par un simple mot, dans la réalisation de ce travail.*

Table des matières

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
Chapitre I.....	3
Cadre général et géologique de la région de Biskra.....	3
I.1. Introduction	4
I.2. Situation géographique	4
I.3. Cadre morphostructural.....	5
I.4. Évolution tectonique.....	7
I.5. Cadre lithostratigraphique détaillé de la région de Biskra	9
I.5.1. Le Trias :	10
I.5.2. Le Jurassique :	11
I.5.3. Crétacé inférieur :	11
I.5.4. Crétacé supérieur :	12
I.5.5. Paléogène :	13
I.5.6. Néogène :	14
I.5.7. Quaternaire :	14
I.6. Paléogéographie du Crétacé dans la région de Biskra.....	16
I.7. Historique des études géologiques de la région de Biskra	17
Chapitre II	19
Étude lithostratigraphique.....	19
II.1. Introduction	20
II.2. Description lithostratigraphique Sud-ouest Biskra	20
II.2.1. Unité I (50 m).....	21
II.2.2. Unité II (65 m)	21
II.2.3. Unité III (30 m)	21
II.3. Systématique et Interprétation Paléontologique.....	23
II.4. Interprétation stratigraphique	28
Chapitre III.....	29

Biométrie, Biostatistique et Interprétation Paléoenvironnementale	29
III.1. Introduction	30
III.2. Biométrie	30
III.2.1. Définition et importance	30
III.2.2. Paramètres biométriques étudiés	31
III.2.2.1. Bivalves	31
III.2.2.2. Échinoïdes (Oursins)	31
III.2.3. Signification morpho-fonctionnelle	31
III.3. Biostatistique	31
III.3.1. Objectifs	31
III.3.2. Paramètres statistiques	32
III.3.2.1. Moyenne	32
III.3.2.2. Écart-type	32
III.3.2.3. Coefficient de variation (CV)	32
III.3.3. Analyse de corrélation	32
III.4. Interprétation paléoenvironnementale	32
III.4.1. Apport des bivalves	32
III.4.2. Apport des échinoïdes	32
III.4.3. Intégration des données	33
III.5. Résultats biométriques et statistiques	33
III.5.1. Analyse biométrique et statistique	33
III.5.2. Statistiques descriptives et analyse des Données Statistiques	34
III.5.2. Statistiques descriptives de Niveau 01	36
III.5.2.1. Dynamique de Croissance et Tendance Verticale ($H > L$) _	34
III.5.3. Variabilité et Stabilité Phénotypique	34
III.5.3.1 Implications Paléoécologiques	35
III.5.3.2. Indices biométriques	35
III.5.3.3. Interprétation morphologique	35
III.5.4. Statistiques descriptives de Niveau 02	36

III.5.4.1. Tendance de Croissance Proportionnelle (H \L).....	36
III.6. Variabilité et Plasticité Phénotypique Élevée Hauteur (H) et Longueur (L) :.....	36
III.7. Implications Paléoécologiques.....	36
III.7.1. Indices biométriques	37
III.7.2. Interprétation morphologique.....	37
III.7.3. Analyse comparative entre les deux niveaux	37
III.7.3.1 Variation des paramètres morphométriques	37
III.7.3.2 Variation des indices.....	38
III.8. ANALYSE DU NIVEAU 1	39
III.8.1. Analyse de la Variance et Qualité de Représentation.....	39
III.8.2. Cercle de Corrélation des Variables	40
III.8.3. Cartographie Thermique des Variables Individuelles	40
III.8.4. Projection des Individus et Interprétation Morpho-taxonomique	41
III.8.5. Classification Hiérarchique	43
III.8.6. Interprétation du Paléoenvironnement du Niveau 1.....	44
III.9. ANALYSE DU NIVEAU 2	45
III.9.1. Analyse de la Variance et Qualité de Représentation.....	45
III.9.2. Cercle de Corrélation des Variables N2	46
III.9.3. Structure du Nuage des Individus	46
III.8.4. Classification Hiérarchique	43
III.9.5. Cartographie Thermique des Variables Individuelles	48
III.9.6. Interprétation Paléoenvironnementale du Niveau 2	49
III.10. SYNTHÈSE ÉVOLUTIVE ET STRATIGRAPHIQUE (ÉVOLUTION VERTICALE).....	51
CONCLUSION GÉNÉRALE	52
Bibliographie	54
RESUMÉ	Error! Bookmark not defined.

List of Figures

Figure 1 : Localisation géographique de la zone d'étude région de Biskra	5
Figure 2: Cross-section depicting the various units of the eastern Algerian Alpine chain (modified from Durand-Delga, 1969).....	7
Figure 3 : Schéma structural de la région de Biskra.....	9
Figure 4 : Carte géologique de la région de Biskra (Modifiée d'après Reghais, basée sur les données de l'ANRH, 2008 ; modifiée par Bougoffa, 2026)	10
Figure 5 : Log lithostratigraphique simplifié de la région de Biskra (d'après Chebah, 2007).....	15
Figure 6: Analyse de la variance par ACP.....	39
Figure 7: Cercle de corrélation des variables de L'ACP	40
Figure 8 : Projection des individus sur le plan factoriel CP1-CP2 de l'ACP.....	41
Figure 9: Biplots de L'ACP(N1)selon les critères morphologiques et taxonomique	42
Figure 10 : Représentation 3D de l'ACP (N1)des spécimens selon leur morphologie	43
Figure 11 : Dendrogramme de la classification Ascendante Hiérarchique (CAH) -Dataset 1	44
Figure 12 : Biplot de l'ACP (PC1 vs PC2) - Dataset 1 coloré selon le facteur environnemental avec projection des variables morphométriques.	45
Figure 13 : Analyse de la variance de l'ACP – Dataset 2 : Scree Plot et variance et variance expliquée cumulée	46
Figure 14 : Cercles de corrélation de l'ACP – Dataset 2	46
Figure 15 : Structure comparée des individus (Niveau 1 et 2) par ACP	47
Figure 16 : ACP 3D des individus par morphotype	48
Figure 17 : Cartographie thermique des variables individuelles sur l'espace factoriel PC1-PC2	49
Figure 18 : Paléoenvironnements du niveau 2- ACP	50
Figure 19 : Classification hiérarchique (CAH) des bivalves du Niveau 2 selon le mode de vie ..	51

List of Tables

Tableau 1 : Synthèse lithostratigraphique et paléoenvironnementale de la coupe Sud-ouest Biskra	21
Tableau 2 : Paramètres statistiques des variables biométriques H, L et D de l'espèce étudiée	35
Tableau 3 : Résultats des paramètres biostatistiques.....	37
Tableau 4 : Tableau III.3 : Variation des indices morphométriques H/L et D/L entre les niveaux 1 et 2 et interprétations paléoenvironnementales associées	38
Tableau 5: Récapitulatif des paramètres biométriques et morphométriques	38
Tableau 6: Des indices moyens.....	39

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

Introduction générale

Le Crétacé supérieur constitue une période importante de l'histoire géologique, marquée par des changements majeurs des environnements sédimentaires et par une forte diversification des organismes vivants. Son étude permet de mieux comprendre l'évolution des écosystèmes et des conditions paléoenvironnementales au cours du Mésozoïque.

En Algérie, La région de Biskra, située à la limite de l'Atlas saharien et du Sahara septentrional, présente des affleurements remarquables du Crétacé supérieur, cette période est particulièrement bien représentée par de nombreuses formations fossilifères

Malgré l'intérêt scientifique des affleurements de Biskra, les études combinant ces deux catégories de fossiles restent relativement limitées. Cette situation soulève plusieurs questions concernant la diversité des assemblages fossiles, leurs caractéristiques taxonomiques et leur contribution à la reconstitution des paléoenvironnements.

Pour répondre à cette problématique, une méthodologie associant travaux de terrain et analyses de laboratoire a été adoptée. Les échantillons ont été collectés, décrits, identifiés et analysés à l'aide d'outils biométriques et biostatistiques, notamment le logiciel PAST, afin de mettre en évidence les caractéristiques paléoécologiques des assemblages fossiles.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres : le premier présente le cadre géologique de la région de Biskra, le deuxième est consacré à l'étude lithostratigraphique de la coupe analysée, tandis que le troisième expose les résultats paléontologiques, biométriques et leur interprétation paléoenvironnementale.

Chapitre I

Cadre général et géologique de la région de Biskra

Chapitre I : Cadre général et géologique de la région de Biskra

I.1. Introduction

La région de Biskra constitue une zone charnière entre l'Atlas saharien et la plateforme saharienne en Algérie nord-orientale. Elle représente un domaine d'intérêt majeur pour l'étude du Crétacé supérieur, notamment en raison de la richesse de ses formations sédimentaires et de leur contenu fossilifère, en particulier les macrofaunes.

L'objectif de ce chapitre est de présenter le cadre géographique et climatique de la région, le contexte géologique régional,

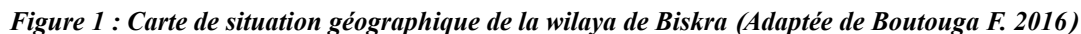
I.2. Situation géographique

La wilaya de Biskra est située au sud-est de l'Algérie, à la limite septentrionale du Sahara, ce qui lui confère une position géographique stratégique au contact entre les domaines nord-atlasiques et sahariens. Elle se localise approximativement aux coordonnées 34°50' de latitude Nord et 5°44' de longitude Est, occupant ainsi une position charnière au niveau de la bordure méridionale de l'Atlas saharien.

Sur le plan administratif, la wilaya de Biskra est limitée au nord par la wilaya de Batna, au nord-est par Khenchela, à l'est par El Oued, au sud par Ouargla, à l'ouest par M'sila et au sud-ouest par Djelfa. Cette configuration territoriale traduit son insertion dans un espace de transition à la fois géographique et géologique, reliant les hauts reliefs atlasiques aux vastes étendues sahariennes.

Du point de vue morphologique, la région de Biskra s'étend depuis les reliefs des monts des Ziban au nord, qui constituent un prolongement de l'Atlas saharien, jusqu'aux plaines sahariennes au sud, caractérisées par des surfaces relativement planes dominées par des formations sédimentaires récentes. Ce gradient topographique nord-sud joue un rôle fondamental dans la distribution des

Par ailleurs, cette position géographique confère à la région une importance particulière dans les études géologiques et paléogéographiques. En effet, Biskra représente une véritable zone de transition entre trois grands domaines structuraux : le domaine tellien au nord, le domaine atlasique au centre, et la plateforme saharienne au sud. Cette situation intermédiaire permet d'observer et d'analyser les variations latérales des dépôts sédimentaires ainsi que les influences combinées de la tectonique et des fluctuations du niveau marin.



Le cadre morphostructural de la région de Biskra résulte d'une évolution géodynamique complexe, contrôlée par l'interaction entre la tectonique alpine, les processus d'érosion différentielle et les conditions climatiques arides qui caractérisent le sud-est algérien. Cette combinaison de facteurs a façonné le paysage actuel et conditionné l'organisation des structures géologiques observables en surface.

Du point de vue tectonique, la région s'inscrit dans le domaine de l'Atlas saharien, une chaîne intracontinentale formée principalement au cours de l'orogénèse alpine liée à la convergence entre les plaques africaine et eurasiennne. Cette tectonique compressive s'est traduite par la mise en place de structures plissées et faillées affectant l'ensemble des séries mésozoïques et cénozoïques (Pierre Flandrin, 1952 ; Jean-Marie Vila, 1980).

La structuration de la région est dominée par un système de plis orientés globalement NE-SW à ENE-WSW, caractéristiques de l'Atlas saharien. Ces plis se manifestent par des anticlinaux, souvent bien individualisés et correspondant à des reliefs positifs, et des synclinaux qui constituent généralement des zones déprimées où les dépôts plus récents peuvent être conservés. Les anticlinaux jouent un rôle majeur dans la mise à l'affleurement des formations du Crétacé supérieur, facilitant ainsi leur observation et leur étude sur le terrain.

En parallèle, les structures faillées occupent une place importante dans l'architecture morphostructurale de la région. On distingue principalement des failles inverses, témoignant du régime compressif alpin, ainsi que des failles de décrochement qui traduisent des ajustements tectoniques plus complexes. Ces discontinuités structurales influencent fortement la géométrie des couches et peuvent entraîner des répétitions ou des omissions stratigraphiques locales (André Busson, 1970).

Sur le plan morphologique, l'érosion différentielle joue un rôle essentiel dans la mise en relief des structures géologiques. Les formations calcaires résistantes forment généralement des crêtes et des reliefs marqués, tandis que les niveaux marneux, plus tendres, sont préférentiellement érodés, donnant naissance à des vallées ou des dépressions. Ce contraste lithologique permet une lecture relativement claire des structures plissées dans le paysage actuel.

Les conditions climatiques arides renforcent ces processus morphogéniques. La faible couverture végétale, associée à des précipitations rares mais parfois intenses, favorise le ruissellement et l'érosion mécanique, contribuant à dégager les affleurements et à améliorer leur accessibilité pour l'étude géologique. Cependant, ces mêmes conditions peuvent également accélérer la dégradation des niveaux fossilifères, influençant ainsi leur état de conservation.

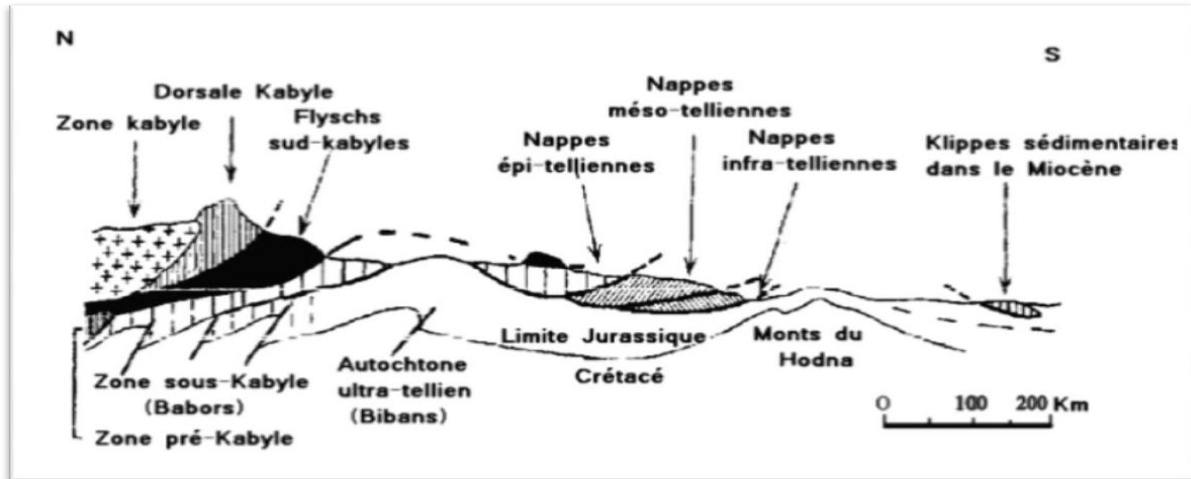


Figure 2: Coupe géologique représentant les différentes unités de la chaîne alpine de l'Est algérien (modifié d'après Durand-Delga, 1969).

I.4. Évolution tectonique

L'évolution tectonique de la région de Biskra s'inscrit dans le cadre plus large de l'histoire géodynamique de la marge nord de la plaque africaine, en relation avec l'ouverture puis la fermeture progressive de la Téthys. Cette évolution se caractérise par une succession de phases tectoniques majeures qui ont profondément influencé la structuration du domaine atlasique et le remplissage sédimentaire des bassins.

Au cours du Trias et du Jurassique, la région connaît une phase extensive liée à la distension lithosphérique affectant la marge sud-téthysienne. Cette extension est à l'origine de la formation de bassins subsidents, souvent contrôlés par des failles normales, dans lesquels se déposent des séries détritiques et évaporitiques, notamment triasiques. Cette phase est largement reconnue dans les travaux de Jean-Marie Vila (1980), qui souligne le rôle de cette tectonique distensive dans la structuration initiale des domaines atlasiques.

Au Crétacé, et plus particulièrement durant le Crétacé supérieur, la région entre dans une phase de subsidence thermique et tectonique relativement stable. Cette subsidence favorise l'installation d'une mer épicontinentale peu profonde liée à l'extension de la Téthys sur la marge nord-africaine. Il en résulte l'accumulation de séries sédimentaires marines épaisses, dominées par des dépôts carbonatés et marneux riches en macrofaunes. Cette période est caractérisée par une

relative stabilité tectonique, permettant une sédimentation continue et souvent bien organisée en cycles transgressifs–régressifs (Busson, 1970 ; Vila, 1980).

Durant le Crétacé supérieur, cette subsidence modérée joue un rôle essentiel dans la préservation des archives sédimentaires. Elle permet le développement de plateformes carbonatées étendues, favorables à l'installation de communautés biologiques diversifiées, notamment les rudistes et autres macrofaunes benthiques, qui constituent aujourd'hui des indicateurs paléoenvironnementaux de premier ordre.

À partir du Cénozoïque, la région est affectée par la phase compressive alpine, liée à la convergence entre les plaques africaine et eurasienne. Cette compression engendre la formation de l'Atlas saharien par plissement et chevauchement des séries mésozoïques, donnant naissance à des structures anticlinales et synclinales bien développées. Les travaux de Pierre Flandrin (1952) et de André Busson (1970) mettent en évidence l'importance de cette phase dans la structuration actuelle de la région.

Cette tectonique compressive entraîne également la réactivation de structures plus anciennes, héritées des phases extensives précédentes, ce qui confère à la région une architecture tectonique complexe. Elle influence directement la géométrie des couches, la distribution des affleurements et la conservation des séries sédimentaires.

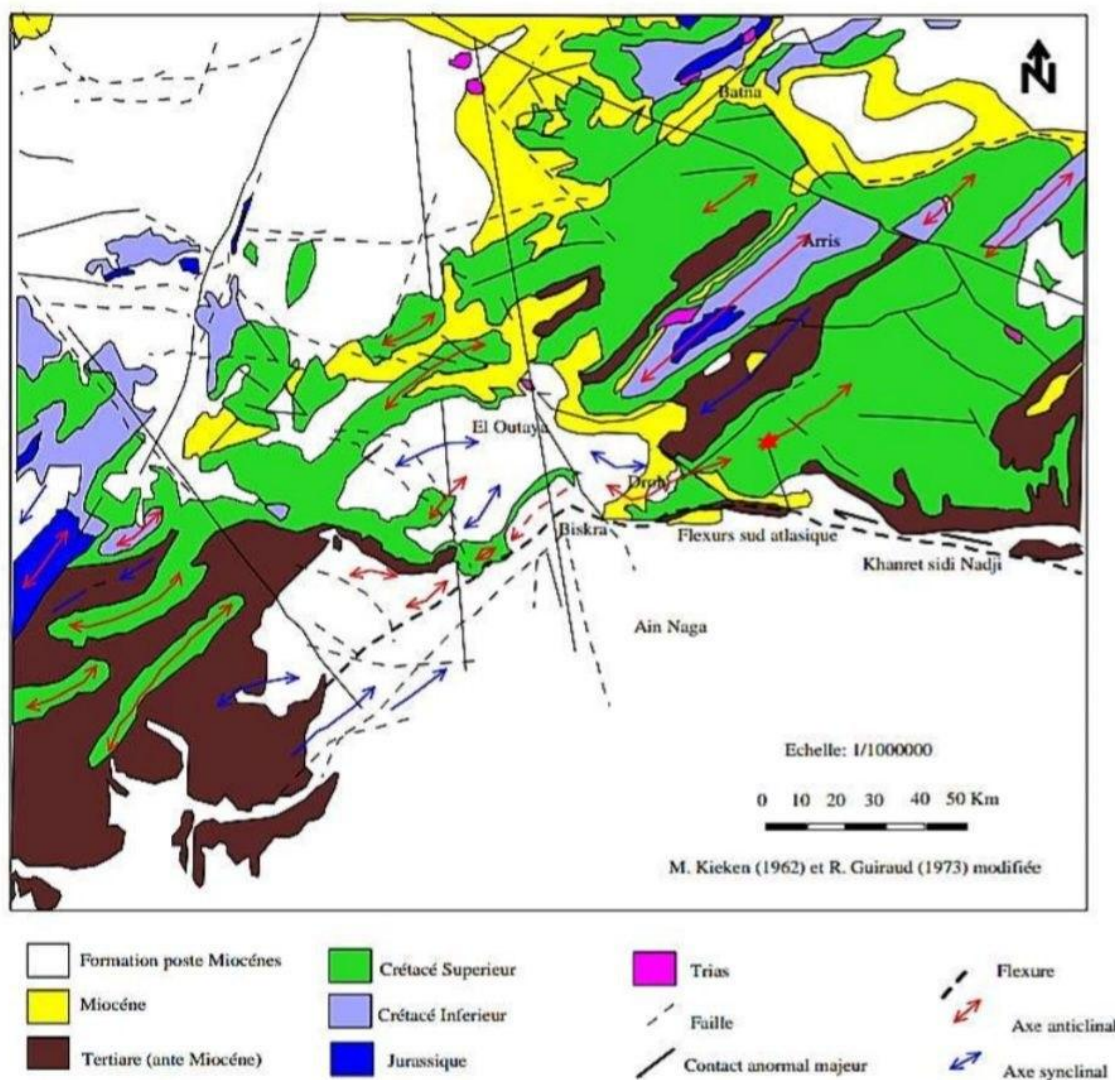


Figure 3 : Schéma structural de la région de Biskra

I.5. Cadre lithostratigraphique détaillé de la région de Biskra

Le cadre lithostratigraphique de la région de Biskra s'inscrit dans l'évolution sédimentaire de la marge nord de la plaque africaine, en relation directe avec l'histoire de la Téthys. La série stratigraphique régionale, bien développée et relativement continue, couvre un intervalle allant du Trias jusqu'aux formations quaternaires actuelles. Elle reflète les grandes phases géodynamiques : distension mésozoïque, subsidence crétacée et compression alpine cénozoïque (Jean-Marie Vila, 1980 ; André Busson, 1970).

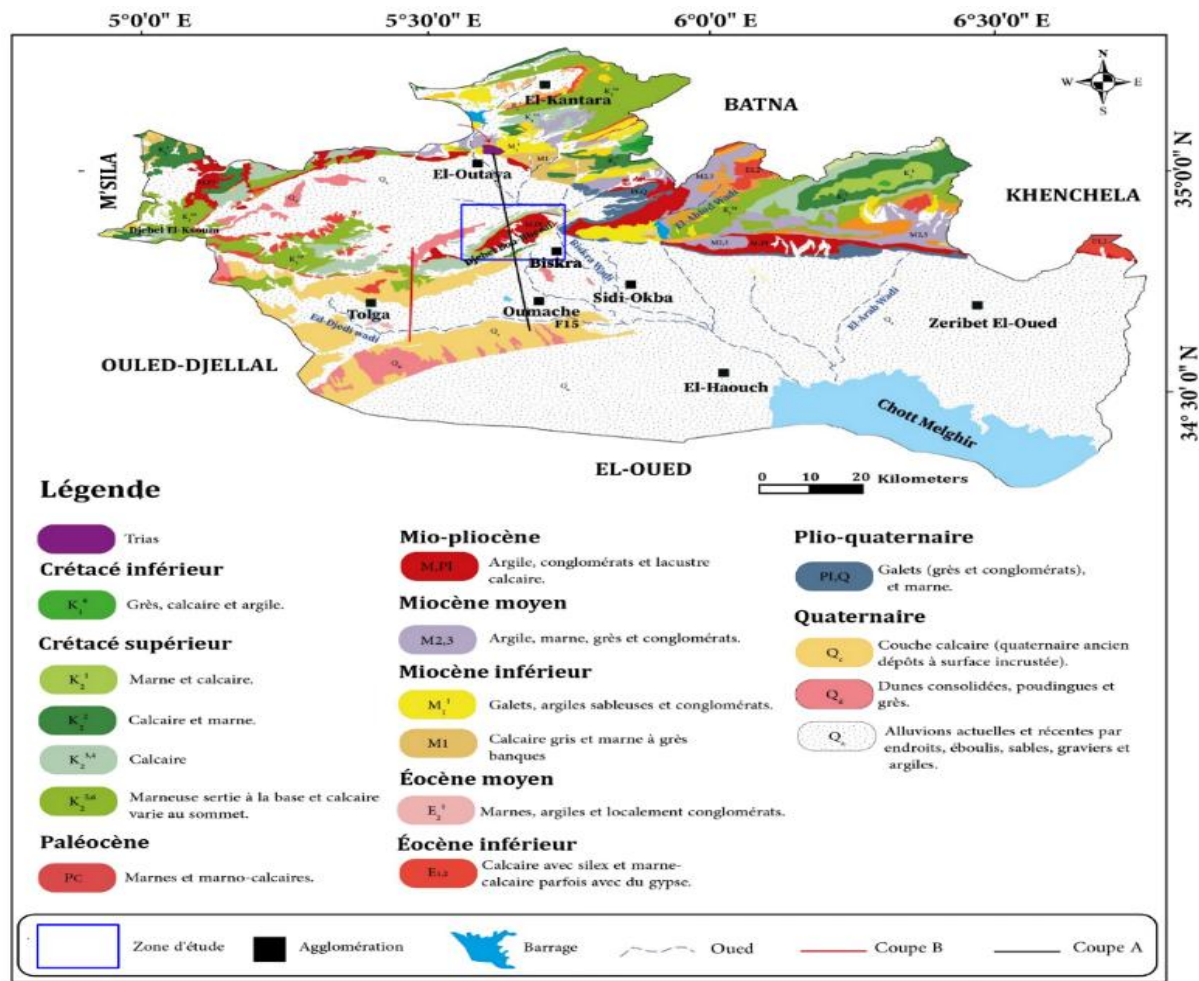


Figure 4 : Carte géologique de la région de Biskra (Modifiée d'après Reghais, basée sur les données de l'ANRH, 2008 ; modifie par Bougoffa, 2026)

I.5.1. Le Trias :

Le Trias constitue la base de la série lithostratigraphique dans la région de Biskra et correspond à une phase clé marquée par un régime tectonique extensif associé à l'ouverture initiale de la Téthys. Les dépôts triasiques sont dominés par des formations évaporitiques, comprenant principalement du gypse, de l'anhydrite et du sel gemme, associés à des argiles rouges et parfois à des niveaux dolomitiques. Ces sédiments se sont déposés dans des bassins restreints, soumis à une forte évaporation dans un climat aride à semi-aride. Sur le plan tectonique, ces niveaux jouent un rôle déterminant en tant que niveaux de décollement, facilitant le glissement des séries sus-jacentes lors des phases compressives alpines, ce qui explique en partie la complexité structurale actuelle de l'Atlas saharien (Busson, 1970).

I.5.2. Le Jurassique :

Au Jurassique, la région connaît une stabilisation relative du contexte tectonique, accompagnée d'une transgression marine généralisée. Cette période est caractérisée par l'installation d'une plateforme carbonatée peu profonde, où dominent des dépôts calcaires et dolomitiques, parfois intercalés avec des niveaux marneux. Ces formations traduisent des environnements marins de plateforme interne à moyenne, avec une sédimentation relativement continue et homogène. L'évolution de ces dépôts témoigne d'un approfondissement progressif du bassin et d'une connexion durable avec les domaines marins de la Téthys (Jean-Marie Vila, 1980).

I.5.3. Crétacé inférieur :

Berriasien

Le Berriasien correspond au début du Crétacé inférieur. Les dépôts sont principalement des marnes et calcaires marneux, déposés dans une mer peu profonde. Les apports détritiques sont faibles, reflétant un environnement marin relativement stable. Cette période marque le développement initial de la faune benthique dans la région (Vila, 1980).

Valanginien

Au Valanginien, la sédimentation devient plus carbonatée, avec l'apparition de calcaires massifs intercalés de marnes. Les conditions environnementales sont favorables au développement des organismes benthiques et rudistes. Les variations latérales des faciès reflètent des micro-habitats différents sur la plateforme marine (Busson, 1970).

Hauterivien

L'Hauterivien présente une alternance de calcaires, marnes et niveaux marneux plus argileux, indiquant des fluctuations du niveau marin et des influences périodiques continentales. Cette variation favorise la diversité des assemblages fossilifères (Philip et al., 2000).

Barremien

Durant le Barremien, la sédimentation est dominée par des calcaires à rudistes et des marnes intercalaires. Les conditions marines peu profondes sont stables, permettant le développement de bioconstructions et de communautés benthiques diversifiées, essentielles pour la reconstruction paléogéographique.

Aptien

L'Aptien est caractérisé par des alternances de marnes, calcaires et sables fins, traduisant des fluctuations du niveau marin et des apports détritiques périodiques. Les plateformes carbonatées internes à moyennes sont soumises à des variations eustatiques et tectoniques locales.

Albien

L'Albien marque la fin du Crétacé inférieur et le passage à des conditions marines plus profondes. Les dépôts calcaires massifs et marneux traduisent un milieu stable avec une faible influence continentale, favorisant la préservation des macrofaunes benthiques et rudistes.

I.5.4. Crétacé supérieur :

Cénomanien

Le Cénomanien correspond à une phase de transgression marine majeure. Les dépôts sont dominés par des marnes et calcaires marneux, déposés dans des environnements de plateforme peu profonde. Cette période voit le développement initial de la faune benthique abondante, comprenant des bivalves et des ammonites. La sédimentation est relativement homogène, mais des variations latérales témoignent d'une légère influence continentale dans certaines zones (Busson, 1970).

Turonien

Le Turonien se caractérise par la stabilisation de la plateforme carbonatée interne. Les calcaires massifs, parfois dolomitisés, indiquent des conditions marines peu profondes à bien oxygénées. Les rudistes et autres macrofaunes se développent intensément, permettant la formation de bioconstructions significatives. Les variations latérales sont moins prononcées qu'au Cénomanien (Philip et al., 2000).

Coniacien

Au Coniacien, on observe une alternance de marnes et calcaires marneux. Cette période correspond à une plateforme marine moyenne à externe, avec des fluctuations du niveau marin. La diversité des macrofaunes augmente, traduisant des conditions écologiques variées et la mise en place de micro-habitats favorables aux organismes benthiques.

Santonien

Le Santonien poursuit la sédimentation alternée marno-calcaire, avec des faciès plus profonds dans certains secteurs. Les rudistes déclinent légèrement, tandis que d'autres groupes benthiques se diversifient. Les marnes deviennent plus fréquentes, témoignant de conditions plus calmes et plus profondes dans le bassin.

Campanien

Durant le Campanien, on note une régression marine relative, traduite par l'augmentation des marnes par rapport aux calcaires. L'environnement de dépôt correspond à une plateforme externe à bassin plus profond, avec une réduction des bioconstructions de rudistes. Les assemblages fauniques changent, mais restent significatifs pour les reconstitutions paléogéographiques.

Maastrichtien

Le Maastrichtien correspond à la fin du Crétacé supérieur. La sédimentation est dominée par des marnes et calcaires marneux, avec une tendance à l'épaississement des séries dans les synclinaux. La régression marine progressive prépare le passage aux environnements continentaux du Paléogène. Les macrofaunes, bien préservées dans les calcaires, sont des témoins essentiels des dernières conditions marines (Busson, 1970 ; Philip et al., 2000).

I.5.5. Paléogène :

Paléocène

Les dépôts du Paléocène comprennent des marnes et calcaires marneux avec quelques intercalations détritiques. Les conditions traduisent des environnements marins peu profonds, avec

une influence continentale modérée. La sédimentation est contrôlée par une régression progressive et le début des mouvements tectoniques alpins (Vila, 1980).

Éocène

L'Éocène est caractérisé par des marnes et calcaires marneux, parfois avec intercalations détritiques. Les conditions de dépôt indiquent des environnements lagunaires à marins peu profonds. La diversité faunique augmente avec l'apparition de nouveaux groupes benthiques. Cette période correspond à une phase de stabilité relative avant le renforcement de la tectonique alpine.

Oligocène

Au cours de l'Oligocène, les dépôts deviennent plus marno-détritiques, traduisant la régression marine et une continentalisation progressive. Les sédiments reflètent des environnements lagunaires et de faible profondeur, associés à une tectonique active qui commence à compartimenter les bassins.

I.5.6. Néogène :

Miocène

Le Miocène est dominé par des dépôts continentaux détritiques, principalement des sables, argiles et conglomérats. Ces niveaux témoignent de la mise en place d'environnements fluviaux et lacustres dans un contexte de surrection progressive de l'Atlas saharien. Les variations climatiques locales influencent fortement l'apport détritique et la morphologie des bassins.

Pliocène

Le Pliocène traduit une continentalisation accentuée, avec prédominance de dépôts fluviaux et alluviaux. Les formations témoignent d'un environnement sec et semi-aride, avec des processus d'érosion et de sédimentation liés aux systèmes fluviaux intermittents.

I.5.7. Quaternaire :

Le Quaternaire est marqué par des dépôts récents liés aux conditions climatiques arides actuelles. Il comprend des alluvions, glaciaires et dépôts éoliens (dunes). Ces dépôts reflètent la

dynamique actuelle des milieux désertiques et constituent les niveaux les plus récents de la succession lithostratigraphique.

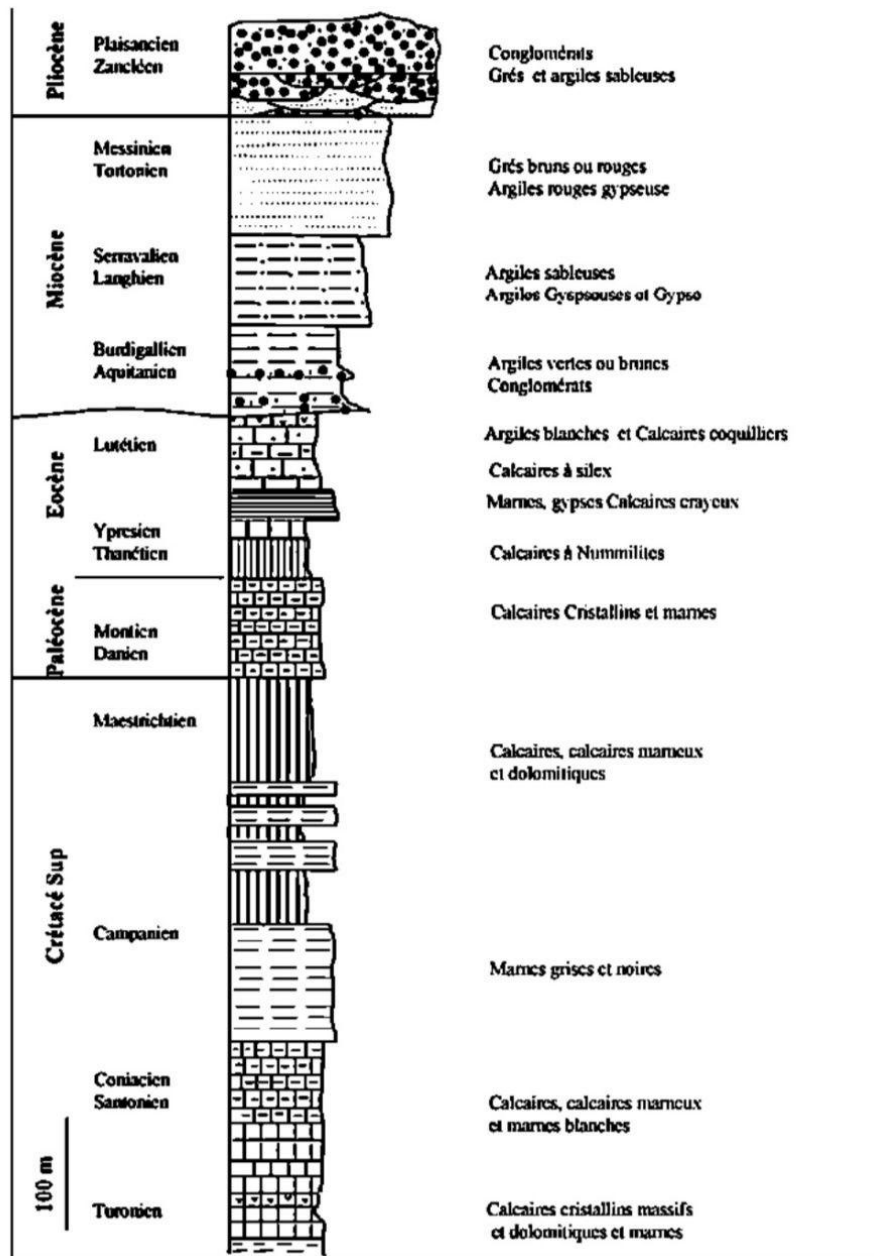


Figure 5 : Log lithostratigraphique simplifié de la région de Biskra (d'après Chebah, 2007).

I.6. Paléogéographie du Crétacé dans la région de Biskra

La région de Biskra, située au sud-est de l'Algérie, représente un secteur clé pour la reconstruction paléogéographique du Crétacé grâce à la richesse et à la continuité de ses séries stratigraphiques, du Berriasien au Maastrichtien. Durant le Crétacé inférieur (Berriasien–Albien), la région était dominée par des plateformes marines peu profondes, alternant marnes et calcaires, avec des zones deltaïques et lagunaires ponctuelles. Ces environnements étaient favorables au développement de rudistes et bivalves, indicateurs de faible énergie et de profondeur limitée, et reflètent une influence continentale intermittente liée aux apports détritiques. Le Berriasien et le Valanginien correspondent à des dépôts marno-calcaires stables, tandis que l'Hauterivien et le Barremien montrent des alternances plus marquées traduisant des fluctuations eustatiques et l'apport de sédiments continentaux. L'Aptien et l'Albien révèlent une plateforme interne à moyenne, avec micro-habitats benthiques diversifiés, et une augmentation de la diversité des rudistes, permettant de distinguer les zones peu profondes des zones légèrement plus profondes et calmes.

Le Crétacé supérieur (Cénomaniens–Maastrichtien) est caractérisé par une subsidence modérée des bassins, favorisant l'accumulation de calcaires massifs et bioconstructions rudistiques dans des environnements marins peu profonds à moyenne profondeur. Le Cénomaniens et le Turonien présentent des plateformes carbonatées étendues et des assemblages fauniques très diversifiés, tandis que le Coniacien et le Santonien montrent des alternances marno-calcaires traduisant des variations du niveau marin et des micro-habitats benthiques plus complexes. Les stades Campanien et Maastrichtien témoignent d'une régression progressive, avec l'augmentation des marnes et la redistribution de la faune benthique dans des zones de profondeur et d'énergie variées.

L'analyse de la répartition des rudistes, bivalves et ammonites permet de reconstituer les zones de plateforme interne, moyenne et externe, de visualiser les gradients de profondeur et d'énergie, et d'évaluer l'influence de la tectonique alpine et des variations eustatiques sur la sédimentation. Cette mosaïque paléogéographique montre que la région de Biskra a connu une évolution continue d'environnements marins peu profonds à des plateformes carbonatées plus étendues, avec des micro-habitats variés propices à la conservation et à la diversification du macrofaune. Ces observations fournissent un cadre essentiel pour comprendre la dynamique des

bassins crétacés, la distribution des faunes fossiles et l'interaction entre la tectonique, le niveau marin et les apports continentaux dans le sud-est algérien (Busson, 1970 ; Philip et al., 2000 ; Vila, 1980).

I.7. Historique des études géologiques de la région de Biskra

L'étude géologique de la région de Biskra s'inscrit dans un continuum scientifique qui a évolué depuis les observations descriptives du XIX^e siècle jusqu'aux approches intégrées modernes.

Cette progression a permis de mieux comprendre la stratigraphie, la paléontologie, la sédimentologie et la paléogéographie du Crétacé et des séries post-crétacées.

Les premières observations remontent au XIX^e siècle, lorsque des naturalistes européens tels que Albert Gaudry ont signalé des fossiles marins sahariens, annonçant l'intérêt paléontologique des formations du sud-est algérien. Au début du XX^e siècle, des géologues comme Albert de Lapparent entreprennent des cartographies régionales des formations crétacées et tertiaires, jetant les bases lithostratigraphiques de la région.

Dans les années 1950 à 1970, des géologues comme Georges Busson ont réalisé des travaux de fond sur la stratigraphie du Mésozoïque saharien, liant les assemblages fossiles (rudistes, bivalves, ammonites) aux environnements sédimentaires. Ces études ont montré l'importance des variations eustatiques et de la tectonique régionale sur la dynamique sédimentaire des plateformes marine du Crétacé.

Au tournant des années 1980–1990, des géologues tels que Jean-Marie Vila ont approfondi la tectonique et la corrélation stratigraphique régionale, tandis que d'autres chercheurs ont détaillé la lithostratigraphie locale. C'est également à cette période que commencent à se développer des approches plus fines de sédimentologie régionale.

Parmi les contributions algériennes importantes figure Benmansour2016 , dont les travaux sur la biostratigraphie du Crétacé algérien ont fourni des cadres d'interprétation chronostratigraphique essentiels, permettant de corréler des niveaux sédimentaires à l'échelle régionale à partir de microfaunes.

Une avancée méthodologique significative est apportée par Bougouffa, qui s'est particulièrement distingué par des études détaillées sur les microfaciès des carbonates crétacés de la région de Biskra. Dans ses travaux, Bougouffa , 2024 a utilisé des analyses microfaciales systématiques (petrographie en lame mince, analyse des assemblages sédimentaires et textures carbonatées) pour reconstruire précisément les environnements de dépôt, les micro-zones de

Plateforme marine et les variations latérales des faciès. Ce travail a permis de distinguer non seulement les grandes unités lithologiques, mais aussi les microhabitats benthiques (zones faiblement à modérément énergétiques, formations récifales vs pelagiques, zones de bioturbation), affinant ainsi l'interprétation paléogéographique du Crétacé supérieur et inférieur. Les études de microfaciès de Bougouffa ont fourni des critères précis pour reconnaître les séquences sédimentaires cycliques, les variations de profondeur d'eau et les transferts de sédiments, rendant possible une reconstitution plus détaillée des plate-formes carbonatées crétacées.

Chapitre II

Étude lithostratigraphique

Chapitre II : Étude lithostratigraphique

II.1. Introduction

Ce chapitre présente une étude lithostratigraphique et paléontologique détaillée de la succession Coniacien dans le sud-ouest de la région de Biskra, une séquence géologiquement significative d'une épaisseur totale d'environ 145 mètres. La succession se caractérise par des alternances cycliques de marnes et de calcaires, présentant une diversité de couleurs (gris, beige, verdâtre et brun clair), de textures et de structures stratifiées reflétant des environnements de dépôt variables au cours du Crétacé supérieur. Certaines couches de la succession, notamment dans l'unité II, présentent des niveaux évaporitiques intermittents, indiquant des conditions de salinité élevée et de forte évaporation dans certains épisodes de dépôt.

Ces unités sédimentaires contiennent une faune fossile diversifiée, fournissant des informations essentielles sur les conditions paléoenvironnementales et la dynamique écologique de la région. La composante microfossile, comprenant ostracodes et foraminifères, est abondante et bien préservée, fournissant des indications biostratigraphiques et paléoécologiques cruciales. Le registre macrofossile, composé de gastéropodes, bivalves, échinides et ammonites, a été systématiquement étudié avec des identifications taxonomiques précises, permettant de mieux comprendre la diversité faunique et les tendances évolutives.

En intégrant les données lithostratigraphiques et paléontologiques, ce chapitre permet de reconstruire l'histoire sédimentaire et la signification paléoécologique de la succession Coniacien–Santonien dans le sud-ouest de Biskra, facilitant les corrélations régionales avec d'autres séquences crétacées du Sahara algérien.

II.2. Description lithostratigraphique Sud-ouest Biskra

Une coupe lithostratigraphique détaillée lit par lit a été réalisée dans la zone d'étude. La Formation du sud-ouest de Biskra présente une épaisseur totale d'environ 145 mètres, subdivisée en trois unités principales caractérisées par des alternances de marnes et de calcaires (Figure ...).

II.2.1. Unité I (50 m)

L'unité basale est constituée d'alternances de marnes verdâtres et de lits de calcaires bioclastiques friables, avec des épaisseurs variant de quelques centimètres à plusieurs mètres. Les calcaires présentent une altération gris-beige, à texture bioclastique grossière, intercalés de niveaux de marnes verdâtres.

II.2.2. Unité II (65 m)

La partie inférieure montre des alternances de calcaires micritiques friables (gris à beige) et de marnes verdâtres, avec quelques niveaux évaporitiques indiquant des épisodes de forte salinité et de dépôt restreint.

La partie médiane comprend des lithologies plus variées : calcaires micritiques, lumachellic, argileux, avec des lits passant de textures micritiques à la base à des textures plus grossières vers le sommet, intercalés de marnes verdâtres à grisâtres, et présentant localement une teinte brun clair sur certains calcaires.

La partie supérieure est caractérisée par des alternances de calcaires bioclastiques durs à texture moyenne, de calcaires argileux friables et de lits de marnes fossilifères.

II.2.3. Unité III (30 m)

L'unité supérieure est composée principalement de calcaires bioclastiques gris durs à texture moyenne, de calcaires bruns durs, et de marnes fossilifères, reflétant une sédimentation plus consolidée et une meilleure préservation des fossiles.

Tableau 1 : Synthèse lithostratigraphique et paléoenvironnementale de la coupe Sud-ouest Biskra

Unité	Épaisseur (m)	Lithologie principale	Couleur	Texture / Particularités	Fossiles dominants	Environnement interprété
I	50	Calcaires bioclastiques	Gris-beige /	Bioclastique grossier,	Ostracodes, Foraminifères, Bivalves	Plateforme marine peu profonde,

		es friables / Marnes	Verdâtre	intercalations marneuses		énergie faible à modérée
II – inférieure	20	Calcaires micritiques friables / Marnes	Gris à beige / Verdâtre	Micritique fine, friable	Ostracodes, Bivalves	Bas-fond marin peu profond, dépôt calme
II – médiane	25	Calcaires micritiques, lumachellic, argileux / Marnes	Gris à beige / Brun clair / Vert-gris	Transition micritique → textures plus grossières, présence de niveaux évaporitiques	Gastropodes, Bivalves, Echinoïdes	Plateforme carbonatée, alternance zones calmes et légèrement agitées, épisodes de forte salinité
II – supérieure	20	Calcaires bioclastiques durs / Argileux friable / Marnes fossilifères	Gris clair / Beige / Brun clair	Texture moyenne, fossilifère	Ammonites, Bivalves	Zone de plateforme consolidée, énergie modérée, accumulation de fossiles
III	30	Calcaires bioclastiques durs / Calcaires bruns / Marnes fossilifères	Gris / Brun / Verdâtre	Texture moyenne à dure	Gastropodes, Bivalves, Echinoïdes	Plateforme stable ou zone plus profonde, sédimentation consolidée, meilleure préservation des fossiles

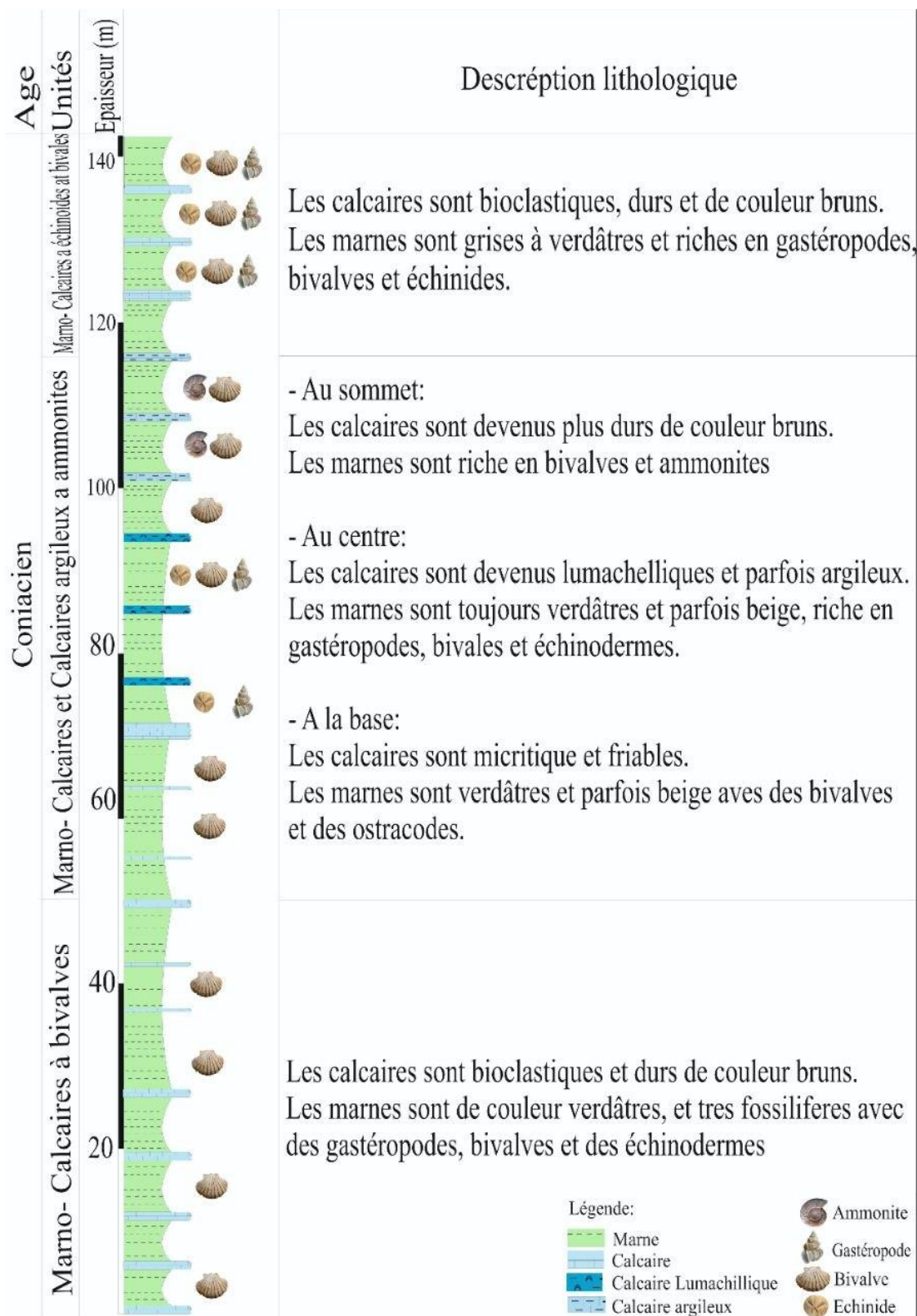


Figure 4 : log lithostratigraphique de la région d'étude

II.3. Systématique et Interprétation Paléontologique

Embranchement : Echinodermata

Classe : Echinoidea

Ordre : Spatangoida

Famille : Hemiasteridae

Genre : *Hemiaster*

Hemiaster sp

Description : Test ovale à subcordiforme, légèrement allongé, présentant une symétrie bilatérale typique des échinoïdes irréguliers. Les ambulacres pétaloïdes sont bien développés et visibles sur la face dorsale. L'ensemble de la morphologie indique une adaptation à un mode de vie fouisseur dans des sédiments meubles.

Stratigraphie : Crétacé inférieur à Maastrichtien supérieur.

Paléoécologie : milieux marneux à vaseux, faible énergie.

Famille : Micrasteridae

Genre : *Micraster*

Micraster sp

Description : Test cordiforme à subcordiforme, de taille généralement moyenne, avec une symétrie bilatérale bien marquée typique des échinoïdes irréguliers. La fasciole est bien développée et nettement visible, indiquant une spécialisation fonctionnelle liée à la vie infaunale. L'ensemble traduit une adaptation fouisseuse efficace dans des sédiments meubles à faible énergie.

Stratigraphie : Turonien à Maastrichtien.

Paléoécologie : milieux crayeux calmes.

Famille : Echinocorythidae

Genre : *Echinocorys*

Echinocorys sp

Description : Test globuleux à sub-sphérique, fortement bombé, de grande robustesse, avec des plaques calcaires épaisses et bien soudées. La forme générale régulière et compacte traduit une bonne résistance mécanique. Cette morphologie est caractéristique d'un échinoïde adapté à la vie sur ou dans des sédiments meubles en milieu marin calme à modérément profond.

Stratigraphie : Santonien à Maastrichtien.

Paléoécologie : milieux relativement profonds, faible énergie.

Famille : Holasteridae

Genre : *Holaster*

Holaster sp

Description : Test allongé à sub-ovale et légèrement aplati, avec une symétrie bilatérale marquée caractéristique des échinoïdes irréguliers. La morphologie générale montre une adaptation fouisseuse efficace, permettant la vie enfouie dans des sédiments meubles. Cette forme est typique de milieux marins à faible énergie hydrodynamique

Stratigraphie : Crétacé inférieur à supérieur.

Paléoécologie : substrats fins, énergie modérée.

Famille : Hemipneustidae

Genre : *Hemipneustes*

Hemipneustes sp

Description : Test massif, subglobuleux à légèrement cordiforme, de grande taille et à structure robuste. La surface est généralement bien bombée avec une organisation adaptée à la vie infaunale. Cette morphologie traduit une adaptation fouisseuse dans des sédiments meubles de milieux marins calmes à modérément profonds.

Stratigraphie : Campanien–Maastrichtien.

Paléoécologie : environnements stables, bien oxygénés.

Embranchement : Mollusca

Famille : Trigoniidae

Genre : *Trigonia*

Trigonia sp

Description : Coquille trigonoïde épaisse, subtriangulaire, caractérisée par une forte costulation radiale et des ornements bien développés sur la surface externe. Les valves sont robustes et bien fermées, indiquant une bonne adaptation aux milieux à substrat sableux. Cette morphologie suggère un mode de vie benthique, souvent inféodé à des environnements marins peu profonds à énergie modérée.

Stratigraphie : Jurassique supérieur à Crétacé supérieur.

Paléoécologie : milieux peu profonds, énergie modérée.

Famille : Pholadomyidae

Genre : *Pholadomya*

Pholadomya sp

Description : Coquille allongée, sub-ovale à elliptique, à valves minces mais relativement allongées et légèrement inégales. L'aspect général traduit une adaptation fouisseuse marquée, permettant l'enfouissement dans des sédiments meubles. Cette morphologie est typique d'un mode de vie infaunal dans des environnements marins calmes à substrat vaseux ou sablo-vaseux.

Stratigraphie : Jurassique à Crétacé supérieur.

Paléoécologie : milieux vaseux calmes.

Famille : Astartidae

Genre : *Astarte*

Astarte sp

Description : Coquille épaisse, subtriangulaire à subovale, à valves robustes et fortement calcifiées. La charnière est bien développée, assurant une fermeture solide de la coquille. Cette morphologie indique une adaptation à un mode de vie benthique infaunal ou semi-infaunal dans des substrats sableux à vaseux, en milieu marin calme à modérément énergétique.

Stratigraphie : Jurassique supérieur à Cénozoïque.

Paléoécologie : hydrodynamisme modéré.

Famille : Cardiidae

Genre : *Cardium*

Cardium sp

Description : Coquille globuleuse à sub-cordiforme, présentant des côtes radiales épaisses et bien marquées, souvent régulières et saillantes. Les valves sont convexes et robustes, traduisant une adaptation à un mode de vie épifaunal ou semi-infaunal dans des substrats sableux. Cette morphologie est typique des environnements marins peu profonds à énergie modérée.

Stratigraphie : Mésozoïque à Quaternaire.

Paléoécologie : milieux peu profonds sableux.

Famille : Pleuromyidae

Genre : *Pleuromya*

Pleuromya sp

Description : Coquille allongée, sub-elliptique à mince, à valves lisses ou faiblement ornées, avec une forme hydrodynamique adaptée à l'enfouissement. L'aspect général traduit un mode de vie fouisseur (infaunal) dans des sédiments meubles. Cette morphologie est caractéristique d'environnements marins calmes à substrat vaseux ou sablo-vaseux.

Stratigraphie : Crétacé supérieur.

Paléoécologie : enfouissement profond.

II.4. Interprétation stratigraphique

L'assemblage faunique étudié est caractéristique du Crétacé supérieur, plus précisément du Coniacien. La présence conjointe d'échinides irréguliers (Hemiaster, Micraster, Holaster, Hemipneustes, Echinocorys) et de bivalves benthiques et fouisseurs (Trigonia, Pholadomya, Astarte, Cardium, Pleuromya) indique un domaine marin téthysien bien établi et relativement stable.

Cette association traduit un environnement de dépôt globalement calme à modérément énergétique, évoluant entre des milieux peu profonds à substrats sableux et des environnements plus marneux, plus fins et plus profonds. La forte représentation des formes infaunales et fouisseuses suggère des fonds meubles favorables à l'enfouissement et à l'adaptation endobenthique.

L'ensemble témoigne ainsi d'une biodiversité marine développée durant le Coniacien, sous l'influence de conditions paléoenvironnementales propices à la colonisation durable des fonds marins par des organismes benthiques spécialisés.

Chapitre III

**Biométrie, Biostatistique et
Interprétation
Paléoenvironnementale**

Chapitre III : Biométrie, Biostatistique et Interprétation Paléoenvironnementale

III.1. Introduction

L'étude biométrique et biostatistique des organismes fossiles représente une approche essentielle en paléontologie quantitative, permettant de relier la morphologie aux conditions environnementales (Raup, 1966). Elle offre la possibilité de quantifier la variabilité morphologique et d'en déduire des implications écologiques et évolutives.

Dans ce chapitre, une analyse intégrée des bivalves et des échinoïdes (oursins) est réalisée afin de reconstituer les conditions paléoenvironnementales du milieu étudié, en s'appuyant sur des approches morphométriques et statistiques.

III.2. Biométrie

III.2.1. Définition et importance

La biométrie correspond à l'ensemble des méthodes quantitatives appliquées à la mesure des formes biologiques. En paléontologie, elle permet d'analyser la variabilité des formes et de comprendre leur signification fonctionnelle et environnementale (Bookstein, 1991).

Elle est particulièrement utile pour :

- ✓ Décrire les variations intra- et interspécifiques
- ✓ Détecter des tendances morphologiques
- ✓ Interpréter les adaptations au milieu

III.2.2. Paramètres biométriques étudiés

III.2.2.1. Bivalves

Les paramètres mesurés incluent la longueur (L), la hauteur (H), l'épaisseur (E), ainsi que le rapport H/L. Ces mesures permettent de caractériser la géométrie de la coquille et son adaptation hydrodynamique (Stanley, 1970).

III.2.2.2. Échinoïdes (Oursins)

Les échinoïdes sont analysés à travers :

- ✓ le diamètre du test (D)
- ✓ la hauteur du test (H)
- ✓ le rapport H/D
- ✓ la symétrie (régulière ou irrégulière)
- ✓ la position de l'apex

Le rapport H/D dans les études morphofonctionnelles des échinoïdes est largement utilisé comme indicateur de forme et d'adaptation aux conditions hydrodynamiques (Kier, 1974).

III.2.3. Signification morpho-fonctionnelle

La morphologie des organismes benthiques est fortement influencée par les contraintes environnementales, notamment l'énergie du milieu et la nature du substrat (Seilacher, 1970).

- ✓ Les formes aplaties sont adaptées aux milieux calmes
- ✓ Les formes globuleuses résistent mieux aux conditions hydrodynamiques élevées

Chez les échinoïdes, la distinction entre formes régulières et irrégulières reflète des modes de vie différents, notamment l'enfouissement dans les sédiments meubles (Kier, 1974).

III.3. Biostatistique

III.3.1. Objectifs

L'analyse biostatistique permet de synthétiser les données biométriques et de mettre en évidence des relations entre variables morphologiques (Sokal & Rohlf, 1995).

III.3.2. Paramètres statistiques

III.3.2.1. Moyenne

La moyenne arithmétique représente la tendance centrale des données et permet de caractériser une population fossile (Sokal & Rohlf, 1995).

III.3.2.2. Écart-type

L'écart-type mesure la dispersion des valeurs autour de la moyenne, traduisant la variabilité morphologique (Sokal & Rohlf, 1995).

III.3.2.3. Coefficient de variation (CV)

Le coefficient de variation est utilisé pour comparer la dispersion relative entre différents ensembles de données, indépendamment des unités de mesure (Sokal & Rohlf, 1995).

III.3.3. Analyse de corrélation

L'analyse de corrélation permet d'évaluer la relation entre deux variables morphométriques (par exemple H et D). Une forte corrélation indique une croissance isométrique, tandis qu'une faible corrélation suggère une croissance allométrique (Raup, 1966).

III.4. Interprétation paléoenvironnementale

III.4.1. Apport des bivalves

Les bivalves sont des indicateurs écologiques fiables, car leur morphologie dépend fortement de leur mode de vie et des conditions du milieu (Stanley, 1970).

- Coquilles épaisses → milieux agités
- Formes allongées → milieux calmes
- Morphologie → type de substrat

III.4.2. Apport des échinoïdes

Les échinoïdes sont particulièrement sensibles aux conditions environnementales.

- Symétrie
- Les formes régulières sont associées à des milieux marins ouverts
- Les formes irrégulières sont adaptées aux substrats meubles et à la vie enfouie (Kier, 1974)
- Rapport H/D

Le rapport H/D constitue un indicateur clé de l'énergie du milieu :

- H/D élevé → peut refléter une adaptation à des conditions hydrodynamiques relativement énergétiques.”
- H/D faible → milieu calme

III.4.3. Intégration des données

L'intégration des données biométriques et biostatistiques permet de reconstituer les paramètres suivants :

- Hydrodynamisme
- Nature du substrat
- Conditions écologiques

Les assemblages fossiles reflètent à la fois les conditions de vie et les processus taphonomiques (Brett & Baird, 1986).

Les résultats obtenus montrent que la variabilité morphologique observée est contrôlée par :

- ✓ Les conditions environnementales
- ✓ Les adaptations biologiques
- ✓ Les processus post-dépositionnels

Cette approche intégrée permet de mieux comprendre les dynamiques paléoécologiques du milieu étudié (Seilacher, 1970).

III.5. Résultats biométriques et statistiques

III.5.1. Analyse biométrique et statistique

Les analyses biométriques et statistiques ont été réalisées sur un ensemble de 162 spécimens fossiles, comprenant 120 échinoïdes et 42 bivalves. Les paramètres morphométriques étudiés concernent principalement la hauteur (H), la longueur (L), l'épaisseur/largeur (D) ainsi que plusieurs indices morphométriques (H/L, D/L) permettent de caractériser les variations morphologiques des populations fossiles et d'en déduire les conditions écologiques du milieu de dépôt (Babin, 2003 ; Stanley, 1970).

Le traitement des données a été effectué à l'aide des logiciels PAST et IBM SPSS Statistics. Les statistiques descriptives comprennent la moyenne, l'écart-type, les valeurs minimales et maximales ainsi que le coefficient de variation (CV).

Une Analyse en Composantes Principales (ACP/PCA) a été appliquée sur une matrice centrée et réduite afin d'identifier les relations entre les variables morphométriques et les regroupements paléoécologiques. Les relations entre variables ont été évaluées par le coefficient de corrélation de Pearson (r), tandis que les différences statistiques entre groupes ont été testées par ANOVA avec un seuil de significativité fixé à $p < 0,05$.

Une classification hiérarchique ascendante (CHA), basée sur la méthode Average Linkage et la distance euclidienne, a également été utilisée pour discriminer les groupes morphologiques et écologiques.

III.5.2. Statistiques descriptives analyse des Données Statistiques Descriptives de Niveau 01

L'analyse univariée des paramètres absolues (H, L, D) permet de caractériser la structure de taille et l'homogénéité phénotypique de la communauté étudiée.

III.5.2.1. Dynamique de Croissance et Tendance Verticale ($H > L$) _

La hauteur moyenne ($H = 5,52$) et ses valeurs extrêmes $\{Min\}=4,8$; $\{Max\}=7,0$) dépassent systématiquement la longueur ($L = 4,35$ $\{Min\}=3,0$ $\{Max\}=5,9$).

III.5.2.2. Interprétation : Cette relation ($H > L$) traduit une tendance vers des formes globuleuses à tendance dômée. Chez ces macrofaunes du Crétacé supérieur, un test élevé optimise le volume interne (organes vitaux) et assure une excellente stabilité mécanique sur ou dans un substrat meuble à faible hydrodynamisme.

III.5.3. Variabilité et Stabilité Phénotypique

Longueur (L) : Présente la plus forte variabilité ($= 1,19$), indiquant que c'est le paramètre le plus plastique, sensible à la croissance et aux distinctions taxonomiques.

Hauteur (H) : Affiche une dispersion intermédiaire (= 1,00), reflétant la coexistence de différents stades ontogéniques (juvéniles à adultes).

Distance (D) : Révèle une forte stabilité (= 0,50 ; intervalle 3,0 - 4,0). Cette faible dispersion mathématique indique un caractère morphologique hautement conservé (canalisation phénotypique ou stabilité morphologique), indépendant des fluctuations du milieu.

III.5.3.1 Implications Paléoécologiques

Les écarts-types modérés et l'absence d'anomalies de taille (ni nanisme ni gigantisme isolé) écartent l'hypothèse d'un mélange de populations hétérogènes. Ces données décrivent une paléocommunauté mature et biocénotiquement stable, évoluant dans un éco-espace favorable à sédimentation régulière.

Tableau 2 : Paramètres statistique des variables biométrique H, L et D de l'espèce étudiée

Paramètre	Moyenne	Écart-type	Min	Max
H	5.52	1.00	4.8	7.0
L	4.35	1.19	3.0	5.9
D	3.47	0.50	3.0	4.0

III.5.3.2. Indices biométriques

- **H/L = 1.30**
- **D/L = 0.84**

III.5.3.3. Interprétation morphologique

Les individus du niveau 1 présentent des coquilles relativement élevées et épaisses. Le rapport H/L supérieur à 1 traduit une morphologie globalement allongée verticalement, tandis que le rapport D/L élevé indique une forte robustesse de la coquille.

Ces caractéristiques sont généralement associées à des environnements à hydrodynamisme modéré à élever, où la résistance mécanique est un facteur sélectif important (Stanley, 1970).

III.5.4. Statistiques descriptives de Niveau 02

III.5.4.1. Tendance de Croissance Proportionnelle (H \ L)

III.5.4.2. Constat : La hauteur moyenne ($H = 3,75$) reste supérieure à la longueur moyenne ($L = 3,32$), mais l'écart entre les deux paramètres se réduit considérablement par rapport au premier ensemble. Les valeurs maximales sont presque identiques ($H_{\max} = 6,1$; $L_{\max} = 6,0$).

III.5.4.3. Interprétation : Cette dynamique indique une transition vers des formes plus équilibrées et moins verticalisées. La réduction de la hauteur relative montre une adaptation à un mode de vie plus endobionte (fouisseurs plus profonds, notamment chez les Bivalves), où une silhouette moins haute facilite la pénétration et le déplacement horizontal au sein des sédiments meubles.

III.6. Variabilité et Plasticité Phénotypique Élevée Hauteur (H) et Longueur (L) :

III.6.1. Hauteur (H) et Longueur (L) : Présentent des écarts-types élevés ($H = 1,50$ _ $L = 1,14$) associés à de larges gammes de tailles. Cela traduit une forte hétérogénéité ontogénique, confirmant la coexistence de nombreux individus juvéniles, sub-adultes et adultes au sein du même niveau.

III.6.2. Distance (D) : Affiche une baisse drastique de sa moyenne ($1,67$) et une augmentation de sa variabilité ($= 0,94$), indiquant que ce paramètre est devenu plus sensible aux spécialisations écologiques de ce niveau.

III.7. Implications Paléoécologiques

L'étalement important des valeurs (des formes millimétriques aux formes centimétriques) combiné à de forts écarts-types démontre une forte dynamique colonisatrice. Ce profil est typique d'une communauté en pleine expansion ou d'une zone de forte productivité biologique (richesse en nutriments), où le taux de recrutement des juvéniles était très élevé dans un milieu de plate-forme ouverte et stable (Tableau 3).

Tableau 3 : Résultats des paramètres biostatistique

Paramètre	Moyenne	Écart-type	Min	Max
H	3.75	1.50	1.3	6.1
L	3.32	1.14	1.6	6.0
D	1.67	0.94	0.3	3.3

III.7.1. Indices biométriques

- **H/L = 1.12**
- **D/L = 0.49**

III.7.2. Interprétation morphologique

Le niveau 2 montre une forte variabilité morphologique, accompagnée d'une réduction significative de l'épaisseur des coquilles. La diminution du rapport D/L indique des valves plus fines et moins robustes.

Cette morphologie est généralement interprétée comme le reflet d'un milieu plus calme, avec une énergie hydrodynamique réduite, favorisant des coquilles plus fragiles et une diversification morphologique plus importante.

III.7.3. Analyse comparative entre les deux niveaux

III.7.3.1 Variation des paramètres morphométriques

L'analyse comparative des paramètres biométriques (Tableau 4) met en évidence une similarité globale des dimensions (H et L) entre les deux niveaux, traduisant une morphologie sub-circulaire relativement constante. Toutefois, des différences significatives apparaissent au niveau des indices morphométriques.

Le rapport D/H montre une augmentation nette dans le niveau 2, indiquant un développement plus important de l'épaisseur des tests. Cette caractéristique est généralement associée à des conditions environnementales plus calmes, favorisant des formes plus robustes.

En revanche, le rapport d/H présente une forte variabilité dans le niveau 1, traduisant une diversité des positions du péristome et suggérant des adaptations fonctionnelles variées. Cette variabilité diminue considérablement dans le niveau 2, où les valeurs deviennent plus homogènes, indiquant une stabilisation du mode de vie et des conditions écologiques.

La comparaison des indices morphométriques confirme une évolution progressive des conditions paléoenvironnementales. Le niveau 1 reflète un milieu relativement dynamique et hétérogène, caractérisé par une diversité morphologique et fonctionnelle. À l'inverse, le niveau 2 correspond à un environnement plus calme et stable, marqué par une homogénéisation des formes.

III.7.3.2 Variation des indices

Tableau 4 : Variation des indices morphométriques H/L et D/L entre les niveaux 1 et 2 et interprétations paléoenvironnementales associées

Indice	Niveau 1	Niveau 2	Interprétation
H/L	1.30	1.12	Aplatissement progressif
D/L	0.84	0.49	Réduction de la robustesse

Tableau 5: Récapitulatif des paramètres biométriques et morphométriques

Paramètre	Niveau 1	Niveau 2	Interprétation
H (hauteur)	1.8 – 3.2	1.6 – 3.1	Dimensions globalement similaires
L (largeur)	≈ H	≈ H	Morphologie sub-circulaire
D (épaisseur)	1.1 – 1.8	1.0 – 2.2	Épaisseur plus importante au niveau 2
d (péristome)	Très variable (0.1 – 0.9)	Peu variable (0.4 – 0.6)	Stabilisation au niveau 2
Dispersion	Élevée	Faible	Milieu plus homogène au niveau 2
Outliers	N36	N40	Spécimens atypiques

Tableau 6: Des indices moyens

Indice	Niveau 1	Niveau 2	Signification
L/H	≈ 1	≈ 1	Forme sub-circulaire
D/H	0.50 – 0.65	0.60 – 0.75	Tests plus épais au niveau 2
d/H	0.05 – 0.35	0.15 – 0.25	Variabilité réduite au niveau 2

III.8. ANALYSE DU NIVEAU 1

Ce niveau est caractérisé par un macrofaune dominé par les Échinides irréguliers (Oursins fouisseurs) associés à quelques Bivalves du Crétacé supérieur.

III.8.1. Analyse de la Variance et Qualité de Représentation

Axe PC1 : Explique 64,1% de la variance totale. C'est l'axe majeur de l'analyse.

Axe PC2 : Explique 17,0% de la variance.

Axe PC3 : Explique 15,5% de la variance.

III.8.1.1. Interprétation statistique : Les deux premiers axes (PC1 et PC2) cumulent 81,1% de l'information (inertie totale), ce qui dépasse largement le seuil requis en paléontologie (80%). Avec l'axe PC3, nous atteignons 96,6%. La représentation statistique obtenue apparaît satisfaisante pour discriminer les variations morphologiques) Figure 6).

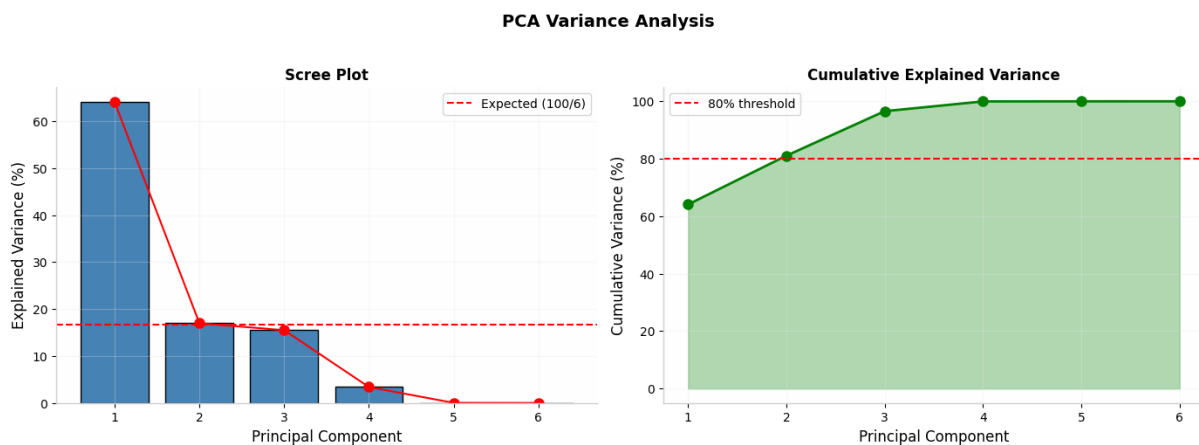


Figure 6: Analyse de la variance par ACP

III.8.2. Cercle de Corrélation des Variables (Fig 7)

III.8.2.1. Comportement sur PC1 : Les variables morphométriques absolues Longueur (L), Largeur (l), Hauteur (H), et Distance (d), s'allongent horizontalement de manière très serrée le long de la partie positive de l'axe PC1. PC1 est le "Facteur Taille" (Size Factor). Plus un individu est projeté vers la droite, plus ses dimensions globales sont grandes.

III.8.2.2. Comportement sur PC2 : Cet axe est régi par les indices de forme relatifs. L'indice d'allongement (L/H) est projeté vers le pôle positif (haut), tandis que l'indice de globularité/convexité (H/L) tire vers le pôle négatif (bas). PC2 est le "Facteur Forme" (Shape Factor). Il sépare les formes aplaties/allongées des formes hautes/globuleuses.

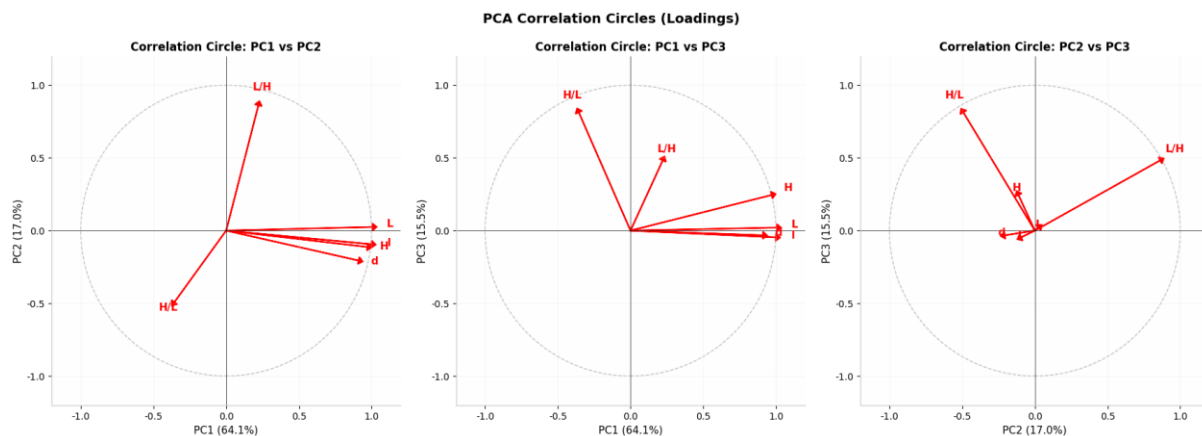


Figure 7: Cercle de corrélation des variables de L'ACP

III.8.3. Cartographie Thermique des Variables Individuelles (Fig 8)

Les graphiques de densité de distribution pour L, l, H et d montrent une homogénéité de couleur (bleu/vert) sur la majorité de l'espace, avec un point focal jaune vif situé uniquement à l'extrême droite. Cela confirme visuellement que l'effet de taille absolue est concentré sur un nombre très restreint d'individus géants, tandis que le reste de la population partage une gamme de tailles standards.

Individual Variable Distributions on PC1 vs PC2 - Dataset 1

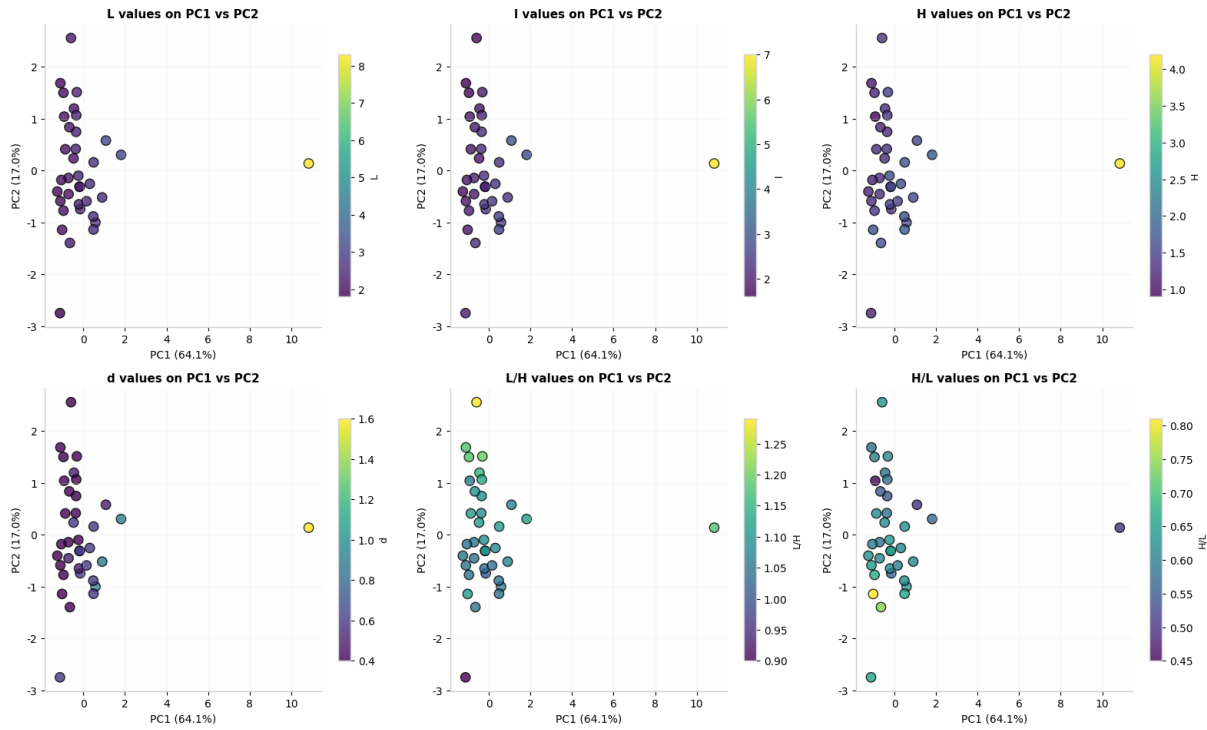


Figure 8 : Projection des individus sur le plan factoriel CP1-CP2 de l'ACP

III.8.4. Projection des Individus et Interprétation Morpho-taxonomique

Le Nuage Central (Faune Standard) : La majorité des spécimens se regroupent au centre-gauche. Ce groupe est composé des formes de morphologie "Oval" (Bleu) et "Subcircular" (Vert). Taxonomiquement, ce nuage est formé par le chevauchement des genres *Hemiaster* sp. et *Micraster* sp.

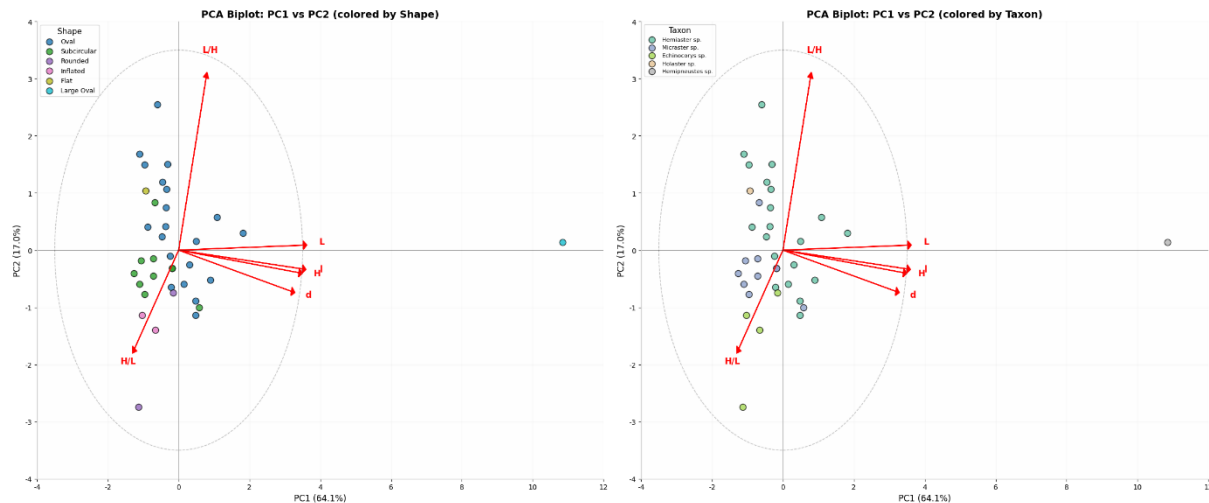


Figure 9: Biplots de L'ACP(N1) selon les critères morphologiques et taxonomique

III.8.4.1. Les Morphotypes Marginaux:

III.8.4.1.1. Le pôle géant (Extrême droite PC1) : Le spécimen N36 s'isole complètement. Il s'agit du genre *Hemipneustes* sp. à forme "Large Oval". Ses dimensions numériques (L=8,44 cm) brisent la symétrie du nuage, traduisant une stratégie de gigantisme biologique.

III.8.4.1.2. Le pôle globuleux (Bas de PC2) : Les spécimens N32, N35 et N14 s'orientent vers l'indice H/L. Ils correspondent aux formes "Inflated" du genre *Echinocorys* sp., caractérisées par un test très haut en forme de dôme. Le pôle aplati (Haut de PC2) : On y trouve des formes très plates (Flat) comme le genre *Holaster* sp..

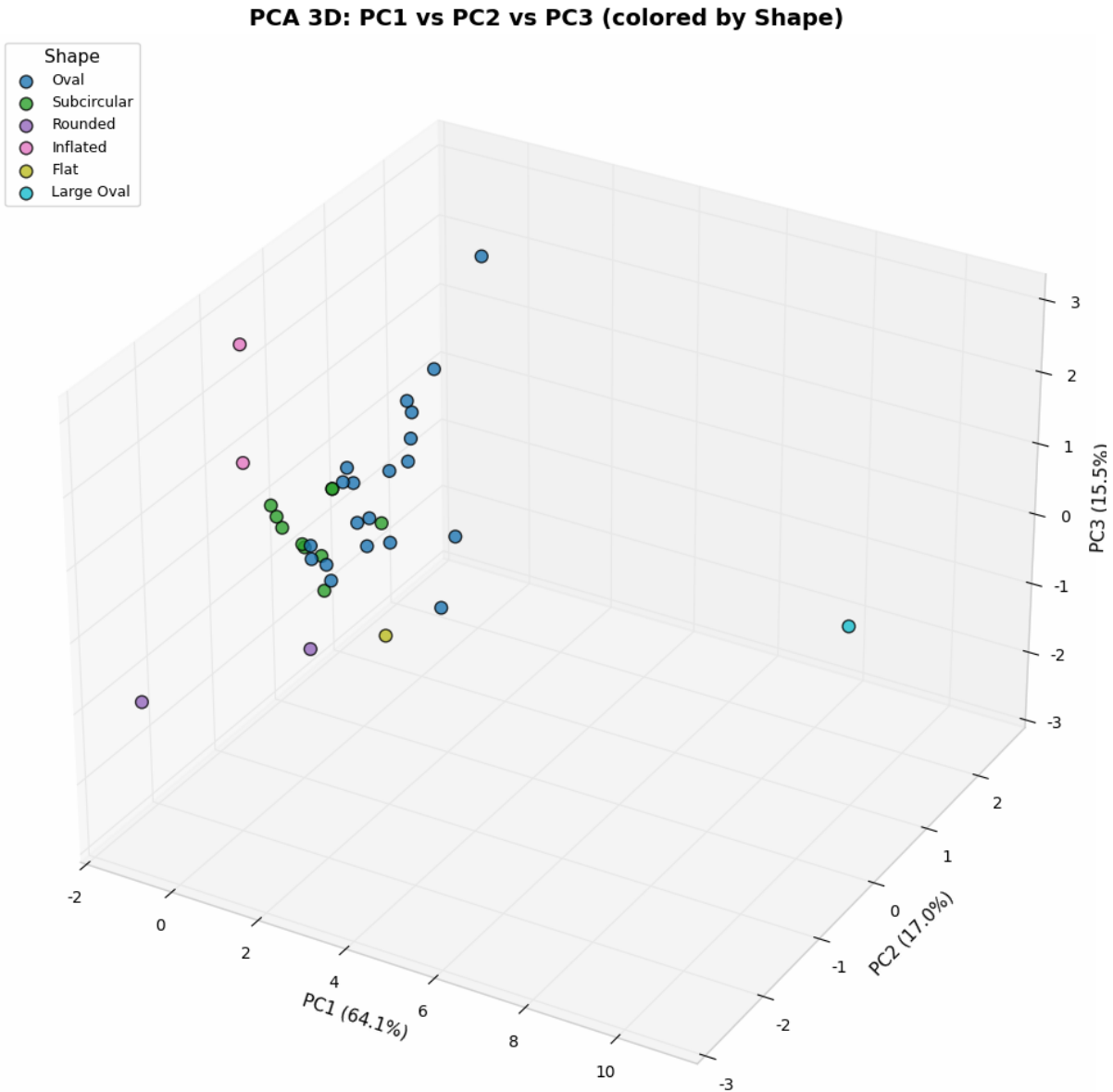


Figure 10 : Représentation 3D de l'ACP (N1) des spécimens selon leur morphologie

III.8.5. Classification Hiérarchique

La comparaison des méthodes montre que la méthode "Average Linkage" possède le coefficient Co phénétique le plus élevé (0,967), validant sa structure dendrogrammique. À la ligne de coupure (Ligne rouge, K=4), la population se scinde :

Cluster 1 (Noir, à gauche) : Isole immédiatement les excentriques morphologiques (Le géant *Hemipneustes* N36 et les très globuleux *Echinocorys*) (Figure 11)..

Cluster 2 (Orange, au centre) : Regroupe la communauté principale d'un même éco-espace (*Hemiaster* et *Micraster*). Morphologiquement interchangeables dans ce cluster, ils démontrent une proximité de niche écologique (Figure 11).

Cluster 3 (Vert, à droite) : Regroupe les formes typiquement plates (*Holaster*)(Figure 11).

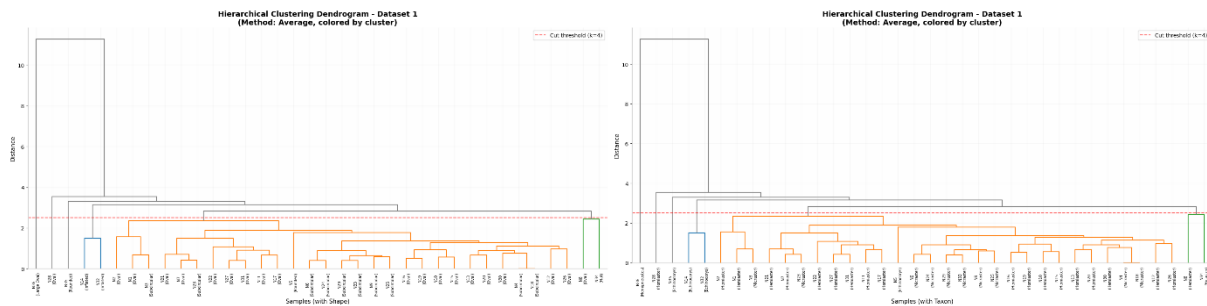


Figure 11 : Dendrogramme de la classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

III.8.6. Interprétation du Paléoenvironnement du Niveau 1

Environnement 2 (Env 2 - Violet) : C'est l'environnement prédominant. Il occupe le centre de l'ACP. Il indique un environnement de plate-forme stable, de type Nérétique interne à moyen (hydrodynamisme modéré, sédimentation limono-marneuse). C'était l'habitat idéal pour les oursins fouisseurs de profondeur moyenne (*Hemiaster/Micraster*) (Figure 12).

Environnement 1 (Env 1 - Vert) : Attiré par le pôle globuleux. Il représente un milieu plus distal, calme et profond (Nérétique externe à circalittoral). Les formes en dôme (*Echinocorys*) y vivaient sur le sédiment sans risque d'être renversées par les vagues (Figure 12).

Environnement 3 (Env 3 - Jaune) : Situé vers le pôle plat/allongé. Il indique une zone proche du rivage (Shoreface / Proximal) à haute énergie hydrodynamique, exigeant des formes hydrodynamiques pour résister aux courants ou s'enfouir rapidement (Figure 12).

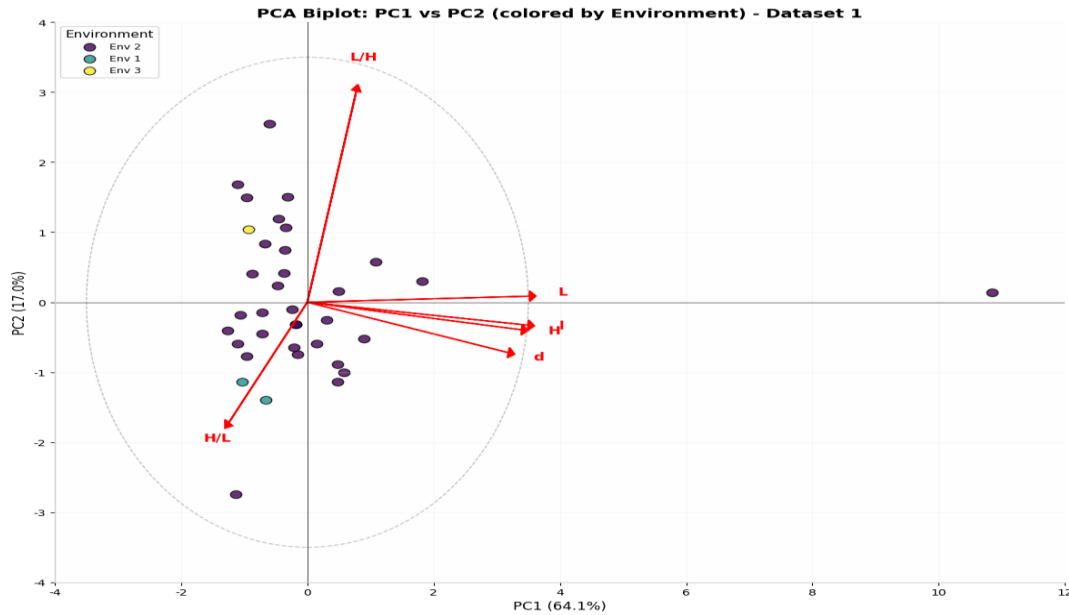


Figure 12 : Biplot de l'ACP (PC1 vs PC2) - Dataset 1 coloré selon le facteur environnemental avec projection des variables morphométriques.

III.8.7. Conclusion Paléoenvironnementale:

La présence conjointe de ces trois environnements hétérogènes dans le même lit sédimentaire indique un enregistrement dynamique condensé ou un dépôt de tempête (Tempestite), ayant transporté et mélangé les faunes de différentes profondeurs du bassin.

III.9. ANALYSE DU NIVEAU 2 (NIVEAU SUPERIEUR)

Ce niveau montre un changement écologique majeur (Faunal Turnover), caractérisé par le déclin des grands échinides et une explosion des communautés de Bivalves endobiontes.

III.9.1. Analyse de la Variance

Les valeurs propres (Eigenvalues) conservent la même répartition mathématique rigoureuse : PC1 explique 64,1% et PC2 explique 17,0%. Cela garantit la continuité méthodologique de votre travail ; les fenêtres d'analyse sont identiques à celles du Niveau 1(Figure 13).

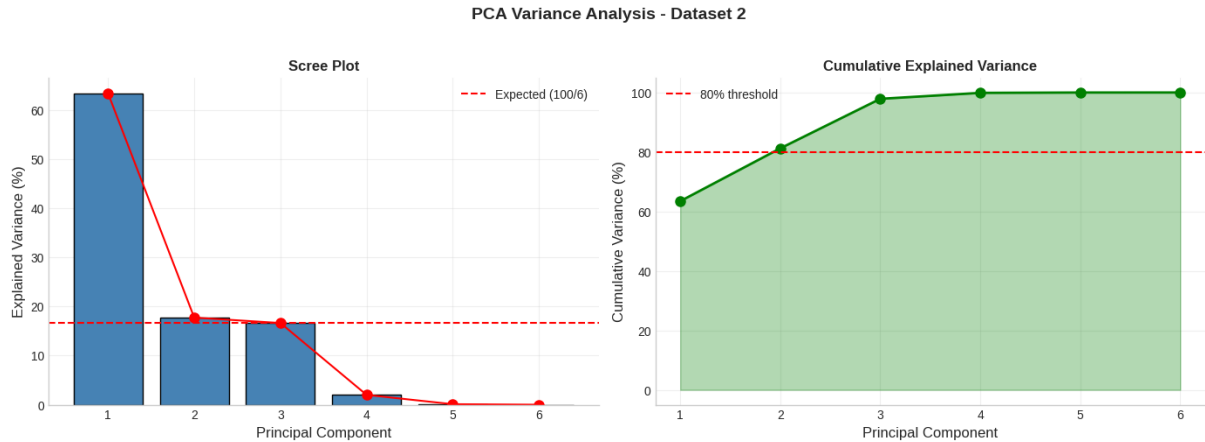


Figure 13 : Analyse de la variance de l'ACP – Dataset 2 : Scree Plot et variance et variance expliquée cumulée

III.9.2. Cercle de Corrélation des Variables N2

La topographie des vecteurs reste inchangée : L, l, H et d contrôlent l'axe horizontal (Taille), tandis que L/H et H/L contrôlent l'axe vertical (Forme). Les lois de croissance allométrique de la faune restent stables à travers le temps (Figure 14).

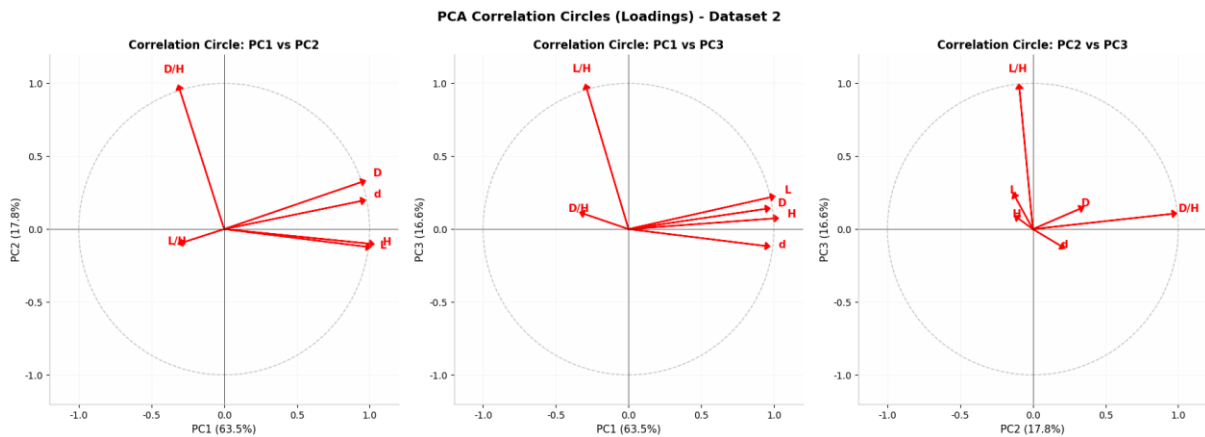


Figure 14 : Cercles de corrélation de l'ACP

III.9.3. Structure du Nuage des Individus

Contrairement au Niveau 1, le nuage de points du Niveau 2 est remarquablement resserré et homogène. Il n'y a plus aucun point excentrique ou géant à l'extrême droite. L'espace

morphologique s'est contracté autour des formes standardisées "Oval" et "Subcircular". Les formes "Large Oval" ont totalement disparu (Figure 15).

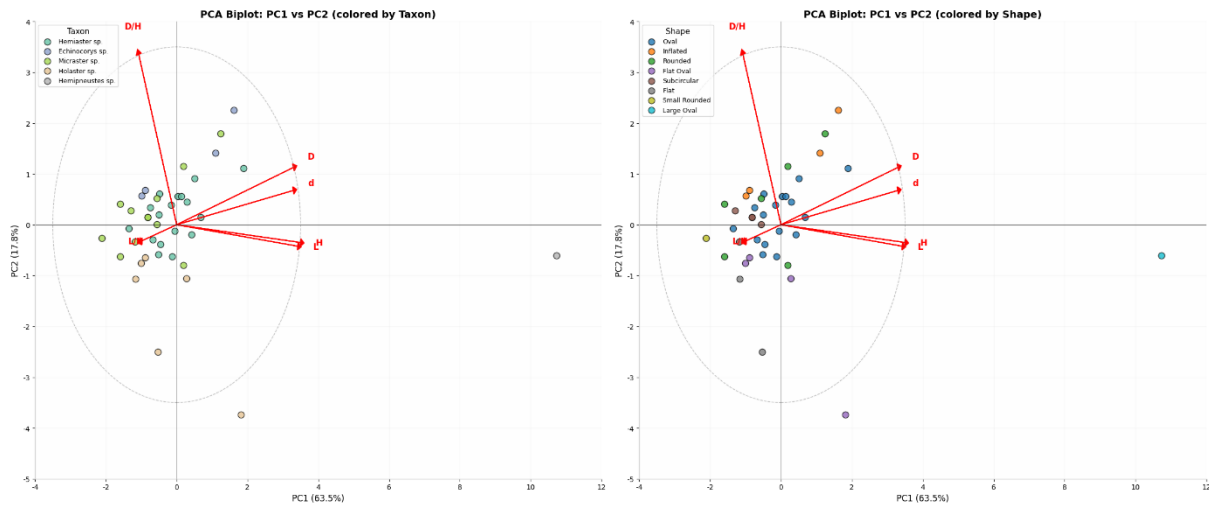


Figure 15 : Structure comparée des individus (Niveau 1 et 2) par ACP

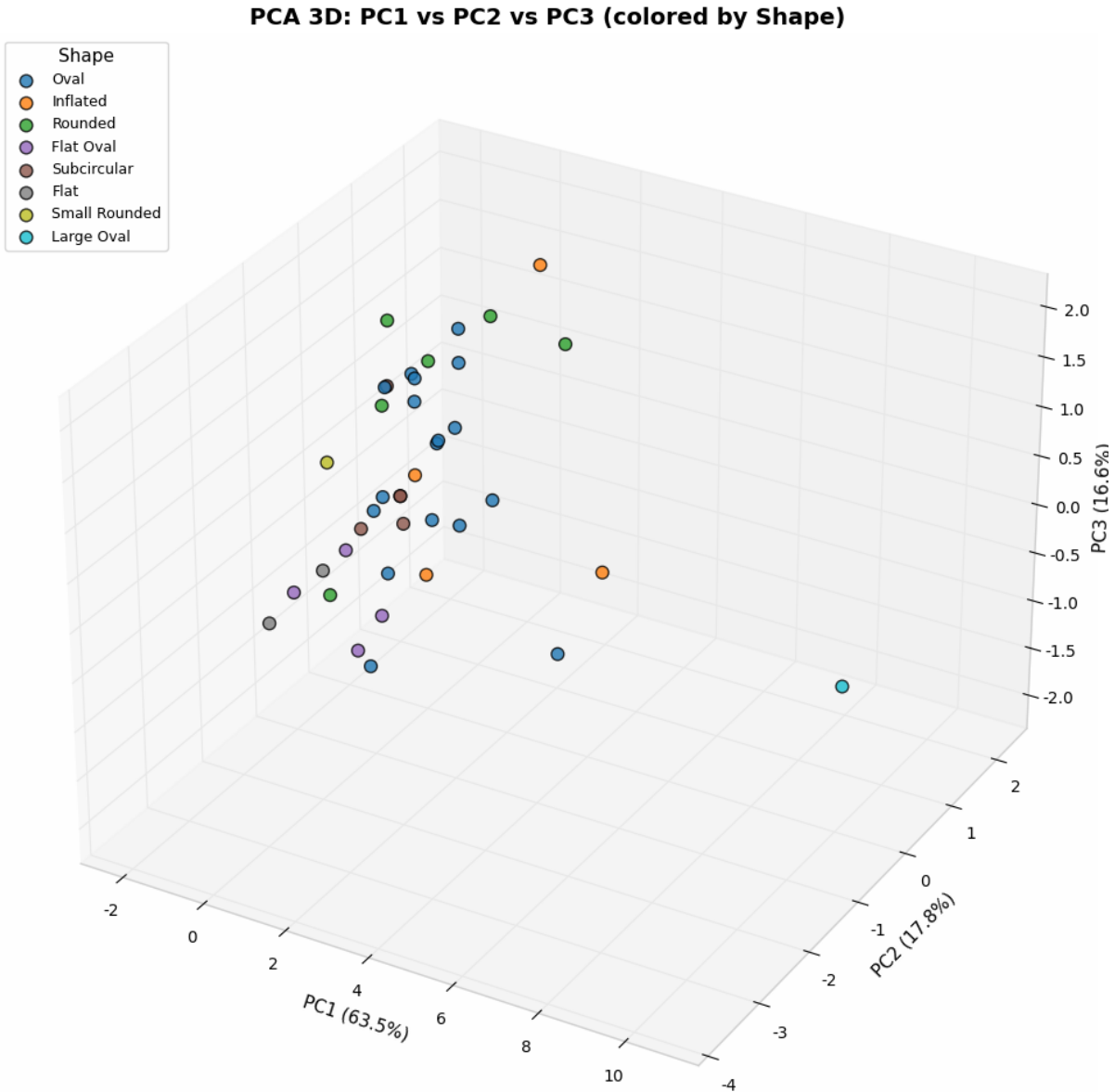


Figure 16 : ACP 3D des individus par morphotype

III.9.4. Cartographie Thermique des Variables Individuelles ([Figure 17](#))

L'examen des cartes d'intensité (Heatmaps) des variables absolues (Longueur L, Largeur l, Hauteur H, et Distance d) révèle une distribution chromatique hautement asymétrique. La majeure partie de l'espace factoriel affiche une homogénéité de teintes froides (bleu/vert), interrompue par un unique point focal de forte intensité (jaune vif) confiné à l'extrême droite de l'axe PC1.

Sur le plan morphométrique, cette topographie visuelle démontre que la variance captée par l'axe PC1 (Facteur Taille) n'est pas répartie de manière continue au sein de la population. Elle est, au contraire, fortement polarisée et dictée par un nombre très restreint d'individus géants (phénomène de gigantisme chez *Hemipneustes sp.*). Le reste de la communauté (composé essentiellement des genres *Hemiaster sp.* et *Micraster sp.*) partage une gamme de tailles standards et homogènes, ce qui explique leur regroupement dense et central sur le Biplot. »

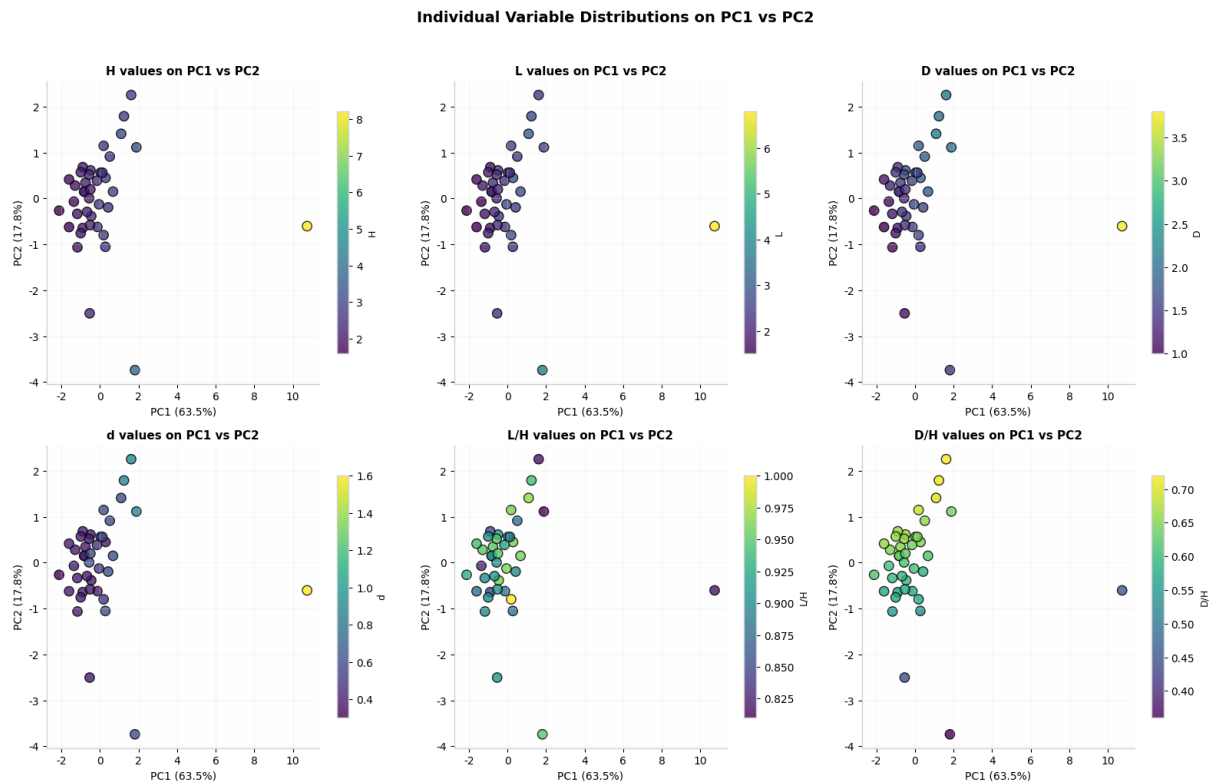


Figure 17 : Cartographie thermique des variables individuelles sur l'espace factoriel PC1-PC2

III.9.5. Interprétation Paléoenvironnementale du Niveau 2

III.9.5.1. Hégémonie de l'Environnement 2 (Env 2 - Violet) : Sur ce graphique, l'Environnement 2 englobait la quasi-totalité du nuage de points. Les pôles marginaux (Env 1 et Env 3) sont réduits à leur strict minimum (Figure 18).

III.9.5.2. Interprétation : Le bassin a subi une homogénéisation et une stabilisation hydrodynamique relative. Les perturbations de haute énergie ou les apports distaux ont cessé. Le

milieu s'est installé durablement dans un faciès de plate-forme ouverte, stable, à sédimentation fine et continue.

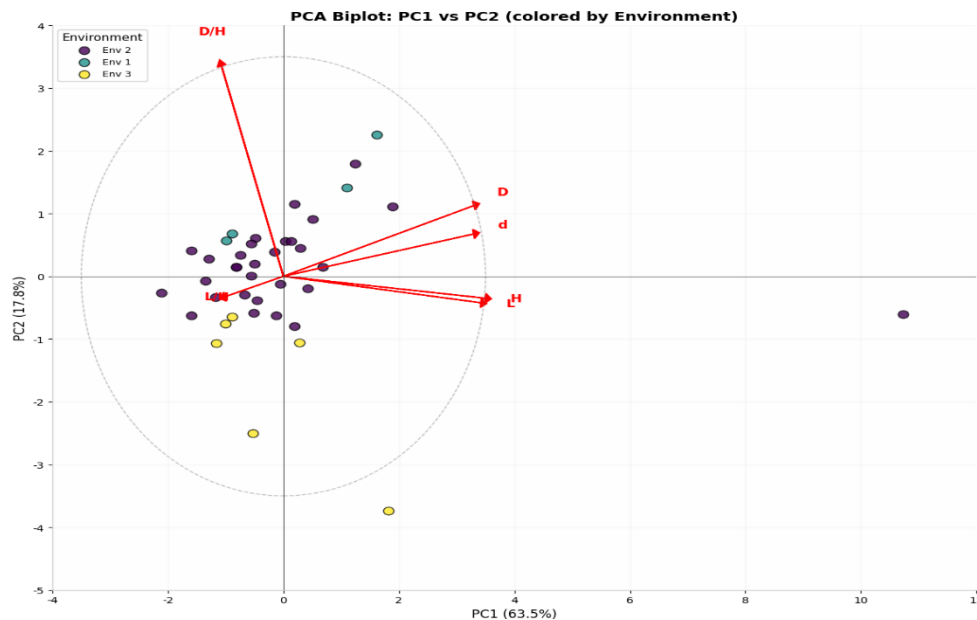


Figure 18 : Paléoenvironnements du niveau 2-ACP

III.9.5.3. Analyse Taxonomique du Niveau 2([Figure 18](#))

L'examen des données du tableau montre l'apparition massive des Bivalves : *Pholadomya* sp., *Astarte* sp., *Cardium* sp., *Trigonia* sp., et *Pleuromya* sp.

Le Dendrogramme du Niveau 2 : Coupé à la même hauteur, il isole de manière très nette les Bivalves selon leur mode de vie : Les genres allongés à long siphons comme *Pholadomya* sp. et *Pleuromya* sp. se projettent vers les formes stables et allongées. Ils indiquent un sédiment meuble, épais et tendre, permettant un enfouissement profond (Endofaune profonde).

Les genres plus globuleux comme *Cardium* sp. S'orientent vers le bas, colonisant l'interface sédiment-eau (Endofaune superficielle).

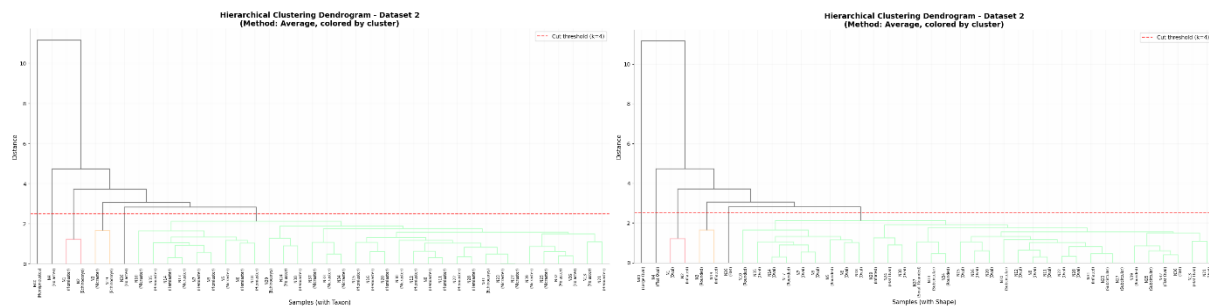


Figure 19 : Classification hiérarchique (CAH) des bivalves du Niveau 2 selon le mode de vie

III.10. SYNTHÈSE PALEOENVIRONNEMENTALE

En comparant le passage du Niveau 1 au Niveau 2, vous pouvez tirer les conclusions évolutives majeures de votre thèse :

III.10.1. Évolution Bathymétrique et Séquentielle : Le Niveau 1 correspond à une période d'instabilité, de forte dynamique sédimentaire (mélange de faunes de milieux proximaux et distaux). Le Niveau 2 traduit une phase de haut niveau marin (Highstand / Phase transgressive stabilisée), caractérisée par un calme hydrodynamique et une sédimentation uniforme de type Plate-forme moyenne (Env 2).

III.10.2. Le Changement Faunique (Faunal Turnover) : On assiste au remplacement d'une faune dominée par des échinides spécialisés à tests géants (*Hemipneustes*) ou très structurés (*Echinocorys*), par une faune opportuniste et très efficace de Bivalves fouisseurs. Cela traduit une modification de la nature du fond marin (le substrat est devenu probablement plus riche en nutriments organiques et plus meuble, favorisant les bivalves suspensivores).

III.10.3. Plasticité Écophénotypique : Les variations métriques intra-spécifiques observées (notamment chez le genre persistant *Hemiaster*) montrent que ces organismes n'ont pas subi de spéciation (évolution génétique majeure), mais ont exprimé une plasticité morphologique (ajustement de la taille et de la hauteur du test) pour s'adapter aux variations de la cohésion du sédiment et de l'apport en nourriture entre le Niveau 1 et le Niveau 2.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Cette étude a permis de réaliser une analyse géologique et paléontologique intégrée des dépôts du Crétacé supérieur dans le sud-ouest de la région de Biskra. L'approche adoptée, fondée sur la combinaison des données lithostratigraphiques, paléontologiques, biométriques et biostatistiques, a contribué à une meilleure compréhension de l'évolution sédimentaire et des conditions paléoenvironnementales qui ont régné dans cette partie du bassin téthysien durant le Coniacien.

L'étude lithostratigraphique a mis en évidence une succession sédimentaire d'environ 145 mètres d'épaisseur, constituée d'alternances de marnes et de calcaires regroupées en trois unités principales. Les variations lithologiques observées traduisent des changements progressifs des conditions de dépôt, depuis des environnements de plateforme marine peu profonde jusqu'à des milieux relativement plus stables et légèrement plus profonds.

L'analyse systématique des fossiles a révélé une association faunique diversifiée dominée par les échinoïdes irréguliers et les bivalves benthiques. Cette association confirme l'âge coniacien des niveaux étudiés et témoigne de l'existence d'un domaine marin téthysien favorable au développement d'une faune abondante et variée. Les caractéristiques morphologiques et écologiques des espèces identifiées indiquent principalement des substrats meubles, des conditions d'oxygénation satisfaisantes et un hydrodynamisme faible à modéré.

Les analyses biométriques et biostatistiques réalisées sur les spécimens fossiles ont permis de mettre en évidence une relative homogénéité morphologique des populations étudiées ainsi qu'une forte relation entre la morphologie des organismes et les contraintes environnementales. Les traitements statistiques, notamment l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA), ont confirmé l'existence de plusieurs groupes morpho-écologiques reflétant différentes stratégies d'adaptation aux conditions du milieu.

L'intégration de l'ensemble des résultats montre que la région étudiée correspondait, durant le Crétacé supérieur, à une plateforme marine relativement stable, caractérisée par des conditions favorables au développement de communautés benthiques diversifiées. Les variations observées entre les différents niveaux traduisent des fluctuations du niveau marin et des modifications progressives des conditions écologiques au cours du temps.

Bibliographie

Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). (2008). Carte géologique de la région de Biskra. Alger, Algérie : ANRH.

Babin, C.; Beaulieu, G. (2003). Les Mollusques Bivalves de l'Ordovicien de Saint-Clément-de-la-Place (Maine-et-Loire, sud-est du Massif Armoricaïn). *Bulletin de la Société des sciences naturelles de l'Ouest de la France, nouvelle série*. 25(4): 177-206., available online at <https://doi.org/10.3406/bsef.2003.17011>

Benmansour S (2023) Upper cretaceous bivalves from Northeastern algeria: description and paleobiogeography. *J Afr Earth Sci* 198:1–18. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2022.104787>

Bougoffa, M.I., Chellat, S., Cherif, A., Benkhedda, A., (2024). Microfacies and depositional environments from the new proposed Upper Cretaceous of Bourzal Formation (Ziban Mounts, Biskra, Eastern Saharan Atlas, Algeria). *Carbonates Evaporites* 39, 92. <https://doi.org/10.1007/s13146-024-01005-9>

Bookstein, F. L. (1991). *Morphometric Tools for Landmark Data: Geometry and Biology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Brett, C. E., & Baird, G. C. (1986). Comparative taphonomy: A key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. *Palaios*, 1(3), 207–227.

Busson, G. (1970). *Le Mésozoïque saharien. 2e partie : Essai de synthèse des données des sondages algéro-tunisiens*. Centre National de la Recherche Scientifique Paris (CNRS), 2 volumes, 810 p.

Busson, G. (1983). Dynamique sédimentaire de plateforme épicontinentale : le Crétacé moyen du Sahara algéro-tunisien. In *Dynamique et méthodes d'étude des bassins sédimentaires*. Paris : Technip.

Chebbah, M. (2007). Lithostratigraphie, sédimentologie et modèles de bassins des dépôts néogènes de la région de Biskra, de part et d'autre de l'Accident Sud Atlasique (Zibans, Algérie). Thèse de Doctorat, Université Mentouri de Constantine, Algérie.

Deleau PMM, Laffitte R (1951) Carte géologique de l'Algérie (2^{ème} édition) D'après leurs études personnelles et d'après les travaux récents de Bertraneu MMJ, Cruys H, Dubourdieu G, Duplan L, Durant Delga M, Durozoy G, Glacon J, Hilly J, Marks P, Rasl

A, Raven Th et ses collaborateurs Van de fliert RJ, Nisse L, Voute C et la première édition de 1/500000

Flandrin, J. (1952). *Les chaînes atlasiques et la bordure Nord du Sahara : aperçu d'ensemble*. XIXe Congrès Géologique International, Monographies régionales, 1ère série : Algérie, n° 14, 82 p.

Guiraud, R. (1973). Évolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Mémoires du Service Géologique de l'Algérie, Nouvelle Série, 39, 1–270.

Kieken, M. (1962). Esquisse tectonique de l'Algérie du Nord. Publications du Service de la Carte Géologique de l'Algérie, n° 31, 16–34 p.

Kier, P. M. (1974). Evolutionary Trends and Functional Morphology in Irregular Echinoids. Paleontological Society Memoir, 5, 1–132.

Laffitte R (1939) Etude géologique de l'Aurès. Doctorat ès Sciences Paris, Bull. Serv. Carte Géol. Algérie, 1re série, n° 15, 484 p. 26 Fig. 35 cartes, 1 carte au 1/ 200 000e h.t

Masse JP, Philip J (1981) Cretaceous coral-rudistid buildups of France. In: D.F. Toomey (Editor), European Fossil Reef Models. SEPM (Society for Sedimentary Geology), Tulsa, Special Publications 30, 399–426

Philip, J. & FLOQUET, M., 2000. Late Cenomanian (94.7–93.5 Ma). In: Dercourt, J., Gaetani, M., Vrielynck, B., Barrier, E., Biju-Duval, B., Brunet, M.F., Cadet, J.P., Crasquin, S. & Sandulescu, M. (Eds.), Atlas Peri-Tethys Palaeogeographical Maps. CCGM/CGMW, Paris, pp. 129–136.

Philip P J (1985) Les formations à rudistes du Crétacé En Tunisie. Une revue. Premier Congrès Natl Des Sci De La Terre Tunis 1:235–240

Philip J, Jaillard E (2004) Revision of the upper cretaceous rudists from Northwestern Peru. J South Am Earth Sci 17(1):39–48

Raup, D. M. (1966). Geometric analysis of shell coiling: General problems. Journal of Paleontology, 40(5), 1178–1190.

Skelton PW (2003) The cretaceous world. The open university. Cambridge University Press, p 360

Seilacher, A. (1967). Bathymetry of trace fossils. Marine Geology, 5(5–6), 413–428.

Seilacher, A. (1970). Cruziana stratigraphy of non-fossiliferous Palaeozoic sandstones. In: Crimes, T.P. & Harper, J.C. (Eds.), Trace Fossils. Geological Journal, Special Issue 3, pp. 447–476.

Skelton PW (2003) The cretaceous world. The open university. Cambridge University Press, p 360

- Skelton PW (2003) The cretaceous world. The open university. Cambridge University Press, p 360
- Sokal, R. R., & Rohlf, F. J. (1995). Biometry: The Principles and Practice of Statistics in Biological Research (3rd ed.). New York: W. H. Freeman and Company.
- Stanley, S. M. (1970). Relation of Shell Form to Life Habits of the Bivalvia (Mollusca). Geological Society of America Memoir, 125, 1–296.
- Vila, J.-M. (1980). La chaîne alpine d’Algérie orientale et les confins sahariens. Thèse de Doctorat d’État, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), France.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى إعادة بناء الظروف الباليوبئية والباليوجرافية لتتابعات الطباشيري العلوي بجنوب غرب منطقة بسكرة (الجزائر)، اعتمادًا على دراسة ليثوستراتيغرافية وباليونتولوجية وبيومترية متكاملة. أظهرت الدراسة أن المقطع المدروس، البالغ سمكه نحو 145 مترًا، يتكون من تعاقبات من المارنات والكلسات موزعة على ثلاث وحدات رسوبية رئيسية تعكس تغيرات في ظروف الترسيب البحرية. وقد سمحت الدراسة التصنيفية بالتعرف على مجموعة متنوعة من الأحافير، خاصة شوكلات الجلد والرخويات ثنائية المصراع، والتي تشير إلى عمر كونياكي من الطباشيري العلوي وإلى انتماء المنطقة إلى المجال البحري التيثيسي. كما بينت التجمعات الأحفورية وجود بيئات بحرية ضحلة إلى متوسطة العمق ذات ركائز رخوة وطاقة هيدروديناميكية ضعيفة ، إضافة إلى تطبيق PAS إلى متوسطة. وشملت الدراسة تحليلًا بيومترًا وإحصائيًا لـ 162 عينة أحفورية باستعمال برمجيات تحليل المركبات الرئيسية والتصنيف الهرمي. وقد أبرزت النتائج وجود استقرار نسبي للمجتمعات الأحفورية مع تكيفات مورفولوجية مرتبطة بطبيعة الوسط الرسوبي. تؤكد هذه النتائج أهمية دمج المعطيات الليثوستراتيغرافية والباليونتولوجية والإحصائية في إعادة بناء البيئات القديمة وفهم التطور الرسوبي لمنطقة بسكرة خلال الطباشيري العلوي.

الكلمات المفتاحية: بسكرة، الطباشيري العلوي، الكونياكي، الأحافير، البيومترية، الباليوبئية، الليثوستراتيغرافيا.

Résumé

Cette étude vise à reconstituer les paléoenvironnements et l'évolution sédimentaire du Crétacé supérieur dans le sud-ouest de Biskra (Algérie), à partir d'une approche intégrée combinant lithostratigraphie, paléontologie et analyses biométriques. La coupe étudiée, d'une épaisseur d'environ 145 m, est constituée d'alternances de marnes et de calcaires réparties en trois unités sédimentaires principales, témoignant de variations des conditions de dépôt en milieu marin. L'analyse systématique a permis d'identifier plusieurs groupes fossiles, notamment des échinoïdes et des bivalves, indiquant un âge coniacien du Crétacé supérieur et une appartenance au domaine marin téthysien. Les assemblages fossiles traduisent des environnements marins peu profonds à modérément profonds, caractérisés par des substrats meubles et un hydrodynamisme faible à modéré. Une étude biométrique et biostatistique portant sur 162 spécimens fossiles a été réalisée.

à l'aide des logiciels PAST. Les méthodes multivariées, notamment l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA), ont permis de mettre en évidence les relations entre morphologie et environnement. Les résultats montrent une relative stabilité des paléocommunautés et confirment l'importance des données paléontologiques et quantitatives dans la reconstitution des paléoenvironnements du Crétacé supérieur de la région de Biskra.

Mots-clés : Biskra, Crétacé supérieur, Coniacien, fossiles, biométrie, paléoenvironnement, lithostratigraphie.

Abstract

This study aims to reconstruct the paleoenvironmental conditions and sedimentary evolution of the Upper Cretaceous deposits in southwestern Biskra, Algeria, through an integrated lithostratigraphic, paleontological, and biometric approach. The investigated section, approximately 145 m thick, consists of alternating marl and limestone deposits grouped into three main sedimentary units, reflecting variations in marine depositional settings. Systematic paleontological analysis identified a diverse fossil assemblage dominated by echinoids and bivalves, indicating a Coniacian age within the Upper Cretaceous and confirming the Tethyan marine affinity of the study area. The fossil associations suggest shallow- to moderately deep-marine environments characterized by soft substrates and low- to moderate-energy conditions. A biometric and biostatistical study was carried out on 162 fossil specimens using PAST software. Multivariate statistical methods, including Principal Component Analysis (PCA) and Hierarchical Cluster Analysis (HCA), were applied to evaluate morphological variability and its environmental significance. The results reveal relatively stable paleocommunities and morphological adaptations linked to depositional conditions and ecological constraints. The integration of lithostratigraphic, paleontological, and quantitative data provides valuable insights into the reconstruction of Upper Cretaceous paleoenvironments and contributes to a better understanding of the geological evolution of the Biskra region.

Keywords: Biskra, Upper Cretaceous, Coniacian, fossils, biometrics, paleoenvironment, lithostratigraphy.