

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Hydrobiologie Marine et Continentale

Spécialité : Biodiversité et gestion des écosystèmes

Thème :

**La biodiversité des foraminifères benthique  
Dans la région de Tipaza**

Présenté par :

Harouz chafika

Soutenu le 07/ 07 /2025 devant le jury composé des membres suivants :

<b>Mme Mahdid. S</b>	Maître de conférences B	ENSSMAL	Présidente
<b>Mme KAIDI. N</b>	Maître de conférences B	ENSSMAL	Examinatrice
<b>Mme Kennouche .H</b>	Maître de conférences A	ENSSMAL	Promotrice
<b>Mme Mokrane. Z</b>	Maître de conférences A	ENSSMAL	Co -Promotrice

**Année universitaire : 2024- 2025**

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Hydrobiologie Marine et Continentale

Spécialité : Biodiversité et gestion des écosystèmes

Thème :

**La biodiversité des foraminifères benthique  
Dans la région de Tipaza**

Présenté par :

Harouz chafika

Soutenu le 07/ 07 /2025 devant le jury composé des membres suivants :

<b>Mme Mahdid. S</b>	Maître de conférences B	ENSSMAL	Présidente
<b>Mme KAIDI. N</b>	Maître de conférences B	ENSSMAL	Examinatrice
<b>Mme Kennouche .H</b>	Maître de conférences A	ENSSMAL	Promotrice
<b>Mme Mokrane. Z</b>	Maître de conférences A	ENSSMAL	Co -Promotrice

**Année universitaire : 2024- 2025**

## REMERCIEMENTS

---

*Je tiens avant tout à exprimer ma profonde gratitude envers le Dieu Tout-Puissant, sans qui rien de tout cela n'aurait été possible. Sa grâce et Sa guidance ont illuminé mon chemin et m'ont donné la force d'aller jusqu'au bout.*

*J'adresse une reconnaissance particulière à ma promotrice, Mme KENNOUCHE Hanane, pour son encadrement exceptionnel, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de ce projet. Sa rigueur et son expertise ont été des éléments clés dans la réalisation de ce travail.*

*Je remercie également ma Co-promotrice, Mme MOKRANE Zakia, pour son aide précieuse et ses encouragements. Ses suggestions et ses remarques pertinentes ont considérablement enrichi cette recherche.*

*Je tiens tout particulièrement à remercier vivement Mme MAHDID. S*

*Qui m'a fait l'honneur de présider ce jury, ainsi que Mme KAIDI. N pour avoir bien accepté d'examiner ce travail.*

## DÉDICACES

---

*Je dédie ce travail à :*

*À mon père SEID, pour ton encouragement indéfectible et tes innombrables sacrifices. Ton soutien a été une lumière constante dans mon parcours. Merci du fond du cœur.*

*À ma mère FATIHA, pour tes sacrifices immenses et tes conseils avisés. Ta présence bienveillante m'a toujours réconforté. Mille mercis pour tout.*

*À Mes frères AZZELDINE et NABIL & mes chères sœurs KARIMA et AYA, à la femme de mon frère HALIMA et leurs enfants, NESRINE et ABDELRAHMANE. A l'époux de ma sœur ADEL, merci pour la positivité et la joie que vous m'apportez. Votre présence illumine ma vie et je suis profondément reconnaissante de vous avoir à mes côtés.*

*A ma cousine CHERINE pour ta joie de vivre, ton soutien et pour les moments inoubliables  
Que nous partageons*

*À mon amie MARWA, tu es la plus belle chose qui soit arrivée dans ma vie. Notre relation est unique et précieuse. Je t'aime profondément et je suis infiniment reconnaissante de t'avoir dans ma vie. Tu es un trésor inestimable.*

*- À mes amies et collègues (Kenza, Maria, Sarah, Chayma, Mayada, leiticia, Khaoula Atoui, Imen, Rosie, Oumaima), pour les moments partagés, les fous rires et l'entraide qui ont rendu ce parcours plus léger.*

*- À toute ma promo de Biodiversité 2023\_2025 pour cette belle aventure collective, les échanges enrichissants et la solidarité qui nous unit*

*À toute ma famille et à toutes les personnes que je n'ai pas pu citer ici.*

*Merci pour votre amour, votre soutien.*

*Avec toute ma gratitude et mon amour.*

*...chafika ...*

## LISTE DES FIGURES

Titre	Page
<b>Figure I.1.</b> Morphologie sous-marine de la baie de Bou-Ismaïl (Le Claire, 1972)	7
<b>Figure I.2.</b> Diversité morphologique des Foraminifères	10
<b>Figure I.3.</b> Anatomie générale d'un foraminifère ((Saraswati, 2021)	11
<b>Figure I.4.</b> Différents tests de Foraminifères observés par un microscope électronique à balayage (Bourdillon, 1994)	12
<b>Figure I.5.</b> Cycle de vie des Foraminifères benthiques (Bourdillon, 1994)	13
<b>Figure I.6.</b> Principales variables environnementales contrôlant la répartition des foraminifères benthiques (Bourdillon, 1994)	14
<b>Figure II.7.</b> Zone d'échantillonnage, au large du port de Tipaza (google Earth)	17
<b>Figure II.8.</b> Flacons des deux échantillons	18
<b>Figure II.9.</b> Matériel utilisé au laboratoire (ENSSMAL)	18
<b>Figure II.10.</b> Le site web <a href="http://foraminifera.eu">foraminifera.eu</a>	19
<b>Figure III.11.</b> Photographies de quelques espèces de Foraminifères identifiées	27
<b>Figure III.12.</b> Contribution en nombre d'individus de chaque espèce au niveau des deux sites	30
<b>Figure III.13.</b> Proportion des genres de foraminifères au niveau des deux sites	33
<b>Figure III.14.</b> Proportion des types de test au niveau des deux sites	34
<b>Figure III.15.</b> Diagramme ternaire de la proportion des types de test de foraminifère	34

## LISTE DES TABLEAUS

Titre	Page
<b>Tableau II .1.</b> Interprétation de l'indice FSI (selon Dimiza et al. 2016)	23
<b>Tableau II.2.</b> Interprétation de l'indice Foram-AMBI (selon Borja et al., 2003)	24
<b>Tableau III.3.</b> Foraminifères identifiés au site de Posidonie	26
<b>Tableau III.4.</b> Foraminifères identifiés à l'intérieur de la grotte	29
<b>Tableau III.5.</b> Nombre d'individus en fonction des espèces de foraminifères observés au niveau des deux sites.	31
<b>Tableau III.6.</b> Proportion des genres de foraminifères calculée au niveau des deux sites	32
<b>Tableau III.7.</b> Proportion des types de test au niveau des deux sites	33
<b>Tableau III.8.</b> Indice de Shannon calculé pour les deux sites	36
<b>Tableau III.9.</b> Indices de Shannon observé dans d'autres régions méditerranéennes	37
<b>Tableau III.10.</b> Indice d'équitabilité calculé pour les deux sites	38
<b>Tableau III.11.</b> Indices d'équitabilité observé dans d'autres régions méditerranéennes	38
<b>Tableau III.12.</b> Indice de stress Foram au niveau des deux sites	39
<b>Tableau III.13</b> Indice de Foram-AMBI au niveau des deux sites	40

## LISTE DES ANNEXES

Titre
<b>Annexe 1.</b> Classification des types de test.
<b>Annexe 2.a.</b> Calcul de l'indice de Shannon
<b>Annexe 2.b.</b> Calcul de l'indice de Pielou
<b>Annexe 3.</b> Classification des espèces tolérantes et sensibles au stress
<b>Annexe 4.</b> Classification des espèces selon leur groupe écologique
<b>Annexe 5.</b> Attestation de participation
<b>Annexe 6.</b> Poster sur la biodiversité des foraminifères benthique dans la région de Tipaza

# SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

DÉDICACES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ANNEXES

**INTRODUCTION .....1**

**CHAPITRE I : GÉNÉRALITÉS .....4**

I.1. Zone d'étude.....5

I.1.1. Géographie de la baie de Bou Ismail.....5

I.1.2. Géologie de la baie..... 5

I.1.3. Morphologie sous-marine.....5

I.1.4. Sédimentation biogène.....6

I.2. Groupe d'espèce étudié : les Foraminifères.....7

I. 2.1. Position systématique..... 8

I. 2.2. Foraminifères benthiques.....8

I. 2.3. Morphologie et structure.....9

I. 2.3.1. Forme du test.....9

I. 2.3.2. Type du test .....9

I. 2.3.3. Structure .....10

I. 2.4. Mode de vie et nutrition .....12

I. 2.5. Distribution .....14

I. 2.6. Intérêt de l'étude des Foraminifères .....14

**CHAPITRE II. MATÉRIELS ET MÉTHODES.....16**

II.1 Echantillonnage .....17

II.2 Traitement des échantillons ..... 18

II.3 Analyse qualitative .....19

II.4.	Analyse quantitative .....	20
II.4.1.	Diagramme ternaire .....	20
II.4.2.	Calcul des indices écologiques .....	20
II.4.2.1.	Richesse spécifique ou indice de Shannon .....	20
II.4.2.2.	Indice d'équitabilité ou de Pielou .....	21
II.4.3.	Indice d'océanité .....	22
II.4.4.	Calcul des indices biotiques basés sur le groupe des Foraminifères.....	22
II.4.4.1.	Indice de Stress Foram .....	22
II.4.4.2.	Indice Foram-AMBI .....	23

### **CHAPITRE III. RÉSULTATS ET DISCUSSION .....25**

III.1.	Analyse qualitative .....	26
III.2.	Analyse quantitative .....	29
III.2.1.	Nombre d'espèces et nombre des individus .....	30
III.2.2.	Proportion des genres .....	32
III.2.3.	Proportion des types de test avec diagramme ternaire .....	33
III.2.4.	Indice d'océanité.....	35
III.2.5.	Indices écologiques .....	36
III.2.5.1.	Richesse spécifique .....	36
III.2.5.2.	Indice d'équitabilité.....	37
III.2.6.	Indices biotiques.....	39
III.2.6.1.	Indice de stress Foram.....	39
III.2.6.2.	Indice Foram-AMBI.....	40

### **CONCLUSION .....41**

### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....43**

### **ANNEXES**

### **RÉSUMÉS**

## **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

---

Les foraminifères sont connus depuis l'Antiquité. Hérodote (vers 484-425 av. J.C.), Strabon (63 av. J.C. - 20 ap. J.C.), puis Pline l'Ancien (23-79 ap. J.C.) avaient mentionné une accumulation d'objets en forme de lentilles dans les calcaires des pyramides d'Égypte : ils avaient détecté la présence des Nummulites (grands foraminifères benthiques).

La Classe des Foraminifera a été créée, au début du 19<sup>ème</sup> siècle, par Alcide d'Orbigny (1802-1857), dans son ouvrage intitulé "Tableau méthodique de la classe des Céphalopodes" (1826). Fondateur de la Micropaléontologie, cet auteur décrit plus de 1000 espèces et fut le premier à étudier le mode de vie et l'écologie de ces petits organismes qu'il classait avec les ammonites. La nature unicellulaire des foraminifères a été découverte en 1835 par Félix Dujardin (1801-1860). Les échantillons des fonds océaniques récoltés lors de la première campagne océanographique scientifique du "Challenger" (1873-1876), étudiés jusque dans les années 1880 par des spécialistes comme Brady, ont apporté une somme de données fondamentales sur le vivant et le fossile

Les foraminifères, protistes marins, jouent un rôle important dans les écosystèmes marins en tant qu'indicateurs de conditions environnementales telles que la température et la salinité (Lohmann, 1995). En effet, en raison de leur cycle de vie court et de leur ubiquité, les foraminifères réagissent rapidement aux changements climatiques, ce qui en fait des indicateurs précieux des variations climatiques passées et actuelles. De plus, ces micro-organismes servent de témoins de la santé écologique des écosystèmes marins, permettant d'évaluer l'impact des activités humaines sur ces milieux et de mieux comprendre les dynamiques environnementales. Berger (1976) note que ce groupe d'espèce est également important dans le cycle du carbone et contribue à la formation de dépôts de calcaire. Du point de vue géologique, les foraminifères peuvent représenter des fossiles très utiles pour dater les roches sédimentaires et reconstruire les zones climatiques plus anciennes (Bolli et al., 1985). Hemleben et al., (2019) observent que leur présence dans les sédiments permet la reconstruction des conditions archaïques passées. Ainsi, ils sont largement utilisés dans les recherches géologiques et paléoclimatiques.

Micro-organismes hautement adaptables, les foraminifères sont largement répartis dans les océans du monde et jouent un rôle important dans les écosystèmes marins. Leur diversité écologique et les informations qu'ils fournissent sur les environnements passés en font des sujets d'étude précieux pour les biologistes marins. En effet, les foraminifères benthiques actuels de la mer Méditerranée ont fait l'objet d'études diverses (Le Calvez et le Calvez, 1951 ; Kurc, 1951 ; Roux, 1964 ; Levy, 1970 ; Zenitti, 1982 ; Venec-peyre, 1984 ; Albani, 1991) la plupart sont essentiellement descriptives (Favry et al. 1996).

Plusieurs auteurs se sont intéressés à ce groupe dans plusieurs domaines et de façon plus importante récemment. Nous citons en titre d'exemples, en environnement : Moodley et al. (1997) ; Wukowits et al. (2017) ; appelli et al. (2019) ; Parent (2019) ; Brinkmann et al. (2022) ; Jorisson et al. (2022) ; Romano et al. (2022) ; Dubcka et al. (2024) ; Guohui et al. (2025) ; François et al. (2025) et Raymond et al. (2025), en diversité : Cimerman et Langer (1991) ; Levy et al. (1995) ; Favry et al. (1996) ; Saraswat (2023) ; Corliss et Rathbern (2025), en distribution : Buosic et al. (2012) et Mendes et al. (2012) ; en climatologie : Armund du

## INTRODUCTION

---

Chatelet et al. (2005) ; Schmiendl (2019) et Barnet (2025), en géologie : Mouffi et al. (2012), Ni et al. (2025) et Weitkamp et al. (2025).

Les études se rapportant à la diversité et écologie des foraminifère benthiques ou planctoniques en Algérie n'existent pas. A part leur présence signalées dans le régime alimentaires de quelques espèces marine comme la crevette rouge *Aristeus antennatus* (Kennouche 2003 et 2009) et la squille *Squilla mantis* (Kacimi, 2017), aucune recherche ne s'est intéressée à ce groupe d'espèce. C'est pour cette raison, que ce travail a été proposé.

Ce travail pionnier, tente à établir une liste faunistique des espèces de foraminifères prélevées dans deux sites ainsi qu'établir des indices écologiques et biologiques.

## **CHAPITRE I : GÉNÉRALITES**

## I.1. Zone d'étude

### I.1.1 Géographie de la baie de Bou Ismail

Avec une ouverture de 40 km, la baie de Bou-Ismaïl est l'une des plus importantes baies de la côte algérienne. Elle occupe la partie ouest du littoral algérois du Ras Acras jusqu'au mont Chenoua; elle est bordée par la mer Méditerranéenne au Nord et par la plaine de la Mitidja au Sud. Le massif de la Bouzaréah à l'Est et le massif de Chenoua à l'Ouest. Elle s'étend de 2°25' à l'Ouest et à 2° 55 à l'Est. Elle est orientée du Sud-ouest à Nord-est. Cette baie couvre une surface de 342 km<sup>2</sup>.

### I.1.2. Géologie de la baie

La baie de Bou Ismail se caractérise par des rivages sableux, séparés par des portions de littoral rocheux bordées par un platier récifal sous-marin plus ou moins large. L'âge et la nature des formations géologiques sont très variables, du Paléozoïque au Quaternaire, du métamorphisme profond au faciès calcaire côtier. Ces deux types de paysages confèrent à la sédimentation générale la juxtaposition, en bandes débordant parallèlement au littoral, de deux types de matériaux, que l'on retrouve d'ailleurs sur l'ensemble de la marge algérienne (Leclaire, 1972), des roches détritiques et des dépôts organogéniques et/ou phycogènes. (Moulffi et al., 2012).

La seule zone où la sédimentation est uniquement terrigène se situe au large de Tipasa, avec des faciès principalement vaseux, sans aucune apparition de dépôts organogéniques. Les dépôts terrigènes obéissent généralement à un granoclassement normal, décroissant de la côte vers le large avec des graviers, des sables, des limons et des argiles. Les graviers ne sont présents que dans la zone côtière, à proximité des embouchures ou des bancs rocheux littoraux en érosion. Les sables et les limons sont apportés par les différents oueds dont les pentes des bassins érodent les formations sableuses oligo-miocènes et les flyschs des unités telliennes formant l'Atlas de Blida (Moulffi et al., 2012)

### I.1.3. Morphologie sous-marine

La baie de Bou-Ismaïl présente une forte dissymétrie (Figure I.1). Dans la partie orientale, à l'est de Bou Haroun, le plateau s'abaisse en pente douce jusqu'au rebord. Sa largeur maximale, de 11 km est atteinte au droit du Mazafran. La topographie est perturbée par des pointements rocheux au large de Sidi Fredj, du Mazafran et de Bou-Ismaïl qui soulignent sa bordure externe (-100 à -120 m) (Figure I.1). Dans la partie occidentale, à l'ouest de Bou Haroun, le plateau est dessiné par des lignes isobathes régulières et serrées jusqu'à -90 m. Plus au large, la pente s'adoucit jusqu'à sa limite externe (-120 m). Dans le prolongement de la vallée du Nador, entre Chenoua et Tipaza, la tectonique a creusé un graben en forte dépression topographique (Domzig, 2006).

Au large du massif du Chenoua, le plateau continental est réduit à une faible bande côtière. Les profondeurs de -120 m sont atteintes à 3,6 km à l'est. Elles s'éloignent à 5, 7 km au large et à

## CHAPITRE I : GÉNÉRALITES

---

l'ouest du massif. Près de la côte, le substratum rocheux présente des pentes fortes. Au-delà de 50 m, la pente s'adoucit pour former un large replat. Plus au large, la morphologie sous-marine est très accidentée par de nombreux pointements rocheux sur le plateau externe. Les sédiments dans cette partie indiquent un fort mélange de matériaux (débris coquilliers) (Moulffi et al., 2012).

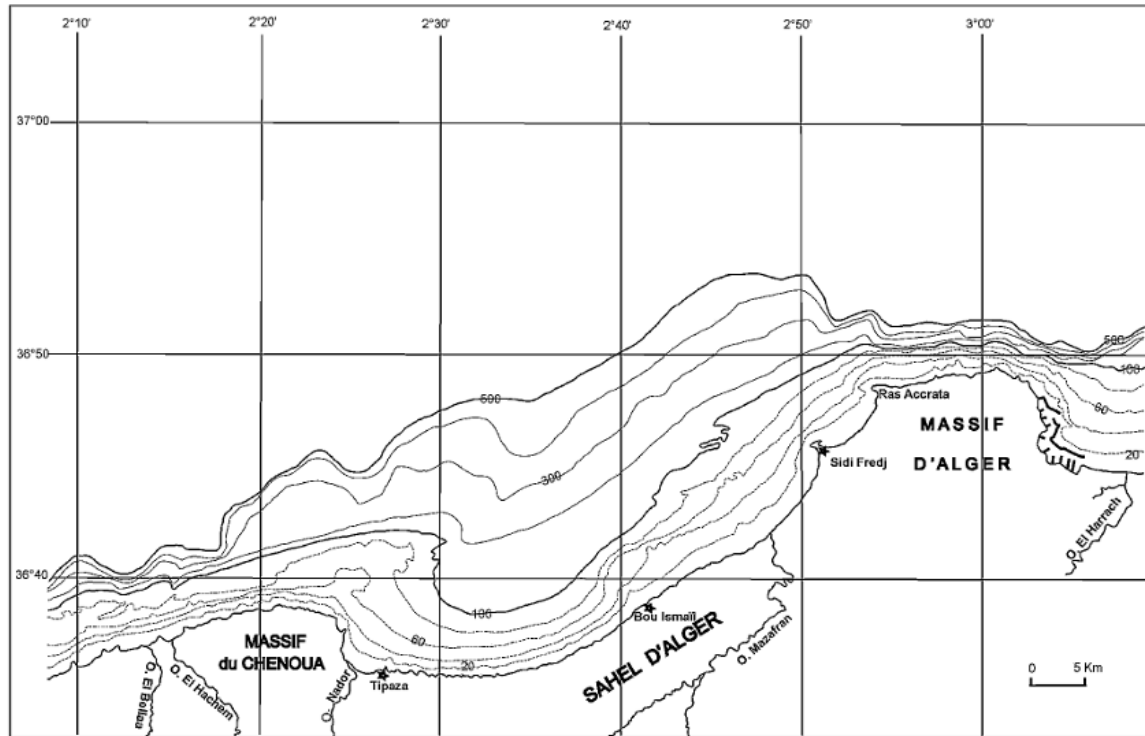
### I.1.4. Sédimentation biogène

Le même assemblage de composants organogéniques est reconnu à l'affleurement et constitue la même unité faunique, bien que localisée dans des situations bathymétriques différentes, depuis la zone côtière de Bou-Ismaïl jusqu'aux limites externes du plateau continental (Leclaire, 1972 ; Moulfi, 1995). Les organismes qui constituent cette famille sont une faune de bivalves, de gastéropodes et de bryozoaires, enrichie par une flore phycogène plus ou moins abondante algues encroûtantes de la famille des Lithothamniés (*Lithothamnium calcareum*). Une microfaune à Foraminifères et Ostracodes est également fréquemment présente (Moulfi-El Houari et al., 1999). Ces assemblages vivent ou ont vécu dans le même milieu infralittoral, mais diverses associations fauniques sont caractérisées par leur niveau de clasticité.

Deux types d'associations sont reconnus. Le premier est constitué de composants organogéniques modernes et le second de composants organogéniques manifestement plus anciens, altérés et brisés, constituant plusieurs sous-ensembles reliques. Les dépôts reliques sont localisés sur le plateau moyen/externe (Caulet, 1972). Ils s'étalent parallèlement à la limite du plateau continental et en plusieurs unités plus ou moins séparées. Ils se sont accumulés (Bivalves, Gastéropodes, Lithothamniés et d'une microfaune de Foraminifères benthiques et d'Ostracodes) lors des périodes de faible peuplement où le trait de côte était situé près de la rupture du plateau continental (-100 à -120 m).

La sédimentation organogénique est très développée à l'Ouest de la baie de Bou Ismaïl, qui est sous la dépendance du mouvement de surrection du massif du Chenoua et par le transit des apports de l'oued Nador le long de la plaque médiane vers la vasière. Une Sédimentation typiquement terrigène, se développe dans la dépression de la vallée de Nador, résultant des apports continentaux des oueds Nador et Mazafran.

Moulfi et al (2012) donnent, dans la baie de Bou Ismaïl, les proportions des sédiments biogènes suivant constitués de la fragmentation et l'usure de coquilles de Lamellibranches (>50 %), Gastéropodes (10 %), Echinodermes et radioles (rares), Bryozoaires (5%), Foraminifères (5%) et Ostracodes (rares valves).



**Figure I.1.** Morphologie sous-marine de la baie de Bou-Ismaïl (Le Claire, 1972)

Les deux faciès (phycogènes et organogènes) s'observent au voisinage immédiat des herbiers à Posidonies et sous forme de placages sur les platiers rocheux tyrrhéniens qui constituent une grande partie du substratum sous-marin de la zone côtière de Bou-Ismaïl à Tipaza (Braïk, 1989). Ils sont localisés dans la frange côtière (<20 m) de Bou-Ismaïl, Aïn Tagourait et jusqu'à Tipaza

Les sédiments organo-phycogènes disparaissent à l'ouest de Tipaza dans la baie du Chenoua où ils sont relayés par les sédiments terrigènes issus de l'oued Nador. Les médianes granulométriques qui les représentent sont souvent supérieures à 400 microns.

La microfaune de foraminifères est observée dans les sables côtiers et le coquillier côtier (-30m) selon les secteurs. Les sédiments sableux sont très pauvres en microfaune voire azoïques du fait de l'hydrodynamisme intense et du volume des apports terrigènes des oueds. Le faciès coquillier côtier, riche en organismes benthiques, présente des teneurs en lutites inférieures à 10%. Le nombre d'individus par gramme varie de 7 à 300 (Moulfi-El Houari, 2008).

## I.2. Groupe d'espèces étudié : les Foraminifères

Protozoaires marins, les Foraminifères sont des organismes protistes eucaryotes unicellulaires (d'Orbigny, 1826). Ces organismes sont présents depuis le Cambrien (il y a 540 millions d'années) et fréquentent presque tous les environnements aquatiques, des océans côtiers aux profondeurs de l'océan (Bolli et al., 1985). Ils se caractérisent par une taille allant de 0,1 à 1 mm.

# CHAPITRE I : GÉNÉRALITES

---

Les Foraminifères ont une coquille calcaire, appelé *Test* constituée de loges successives reliées entre elles par des orifices (foramen). Le cytoplasme émet des pseudopodes fins et réticulés.

Selon leur mode de vie, les Foraminifères peuvent être classés en deux catégories principales :

- Planctoniques, qui possèdent des tests entièrement calcaires, très perforés, formés de loges globulaires avec une ou plusieurs larges ouvertures.
- Benthiques, dont le test est généralement plus lourd, souvent plus massif, et dont la texture varie considérablement (agglutinée, hyaline ou porcelaine). En règle générale, l'ouverture est unique.

Les organismes planctoniques se trouvent uniquement dans des environnements marins purs, tandis que les organismes benthiques peuvent habiter tous les types de milieux aquatiques, tant que la salinité y varie entre 4 % et 55 % (Bourdillon, 1994).

## I.2.1. Position Systématique

La classification des Foraminifères retenue dans le cadre de cette étude est celle décrite par Loeblich et Tappan (1987). Il existe selon cette classification 12 sous ordres, 74 super familles, 296 familles, 302 sous familles et 2455 genres.

**Les Foraminifères font partie de l'ordre des Foraminiferida (Eichwald, 1830) appartenant à la classe des Granuloreticulosa (De Saedeleer, 1934), Super classe des Rhizopoda (Von Siebold, 1845), sous embranchement des Sarcodina (Schmarda, 1871), embranchement des Sarcomastigophora (Honiberg et Balamoth, 1963), sous règne des Protozoaires, règne des Protistes.**

## I.2.2. Foraminifères benthiques

Ils forment des communautés diversifiées et colonisent une grande variété de milieux marins, allant des plaines abyssales pauvres en nutriments aux zones hydrothermales actives, en passant par les lagunes hypersalines (Murray, 1970 ; Debenay, 1990 ; Sen Gupta et Aharon, 1994). Certains groupes ont même réussi à s'adapter à des environnements saumâtres et d'eau douce (Pawlowski, 2000).

Certaines des espèces benthiques sont vagiles, d'autres sont sessiles et encore d'autres qui sont alternativement libres ou fixés. Ainsi, selon leur relation avec le substrat, Murray (1991) propose la classification suivante :

- Epifaune, qui correspond aux organismes vivant sur ou au-dessus du sédiment.
- Semi-épifaune, qui inclut les organismes vivants à la fois au-dessus et parfois en dessous du sédiment.
- Endofaune, désignant les organismes vivant à l'intérieur du sédiment. Plus de 40% d'espèces s'enfoncent jusqu'à 4-5 cm et d'autres, seulement 2-3cm (Philippe-Loeillet, 1983).

## CHAPITRE I : GÉNÉRALITES

---

Les Foraminifères benthiques peuvent se trouver à diverses profondeurs. Cette répartition est influencée par plusieurs facteurs tels que la température, la salinité, le type de sédiment, la quantité d'oxygène disponible et la matière organique présente.

Les **Foraminifères benthiques libres** se déplacent lentement en rampant à la surface du sédiment, le long des végétaux ou sur des supports animaux, propulsés par leurs pseudopodes. Leur vitesse de déplacement est très réduite, ne dépassant généralement pas les huit à dix centimètres par heure (Bourdillon, 1994)

### I.2.3. Morphologie et structure

La morphologie des Foraminifères benthiques varie considérablement, reflétant la diversité de ce groupe de micro-organismes. Cette diversité est cruciale pour leur identification et leur étude environnementale (Bourdillon, 1994). Les principales caractéristiques sont les suivantes :

#### I.2.3.1. Forme du test

La caractéristique la plus distinctive des Foraminifères est leur coquille ou test. Constitué de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) mais chez certaines espèces, il est aussi composé de matière organique. Il assure la protection de la cellule et peut servir d'aide à la flottabilité. Ce test peut être uniloculaires (avec une seule chambre) ou pluriloculaires (composés de plusieurs chambres). La disposition des chambres peut adopter différents arrangements, tels que : Unisériel ou bisériel dans le cas d'un test pluriloculaire rectiligne ; évolutive ou involutive dans le cas des pluriloculaires enroulés ; streptospiralé ou enfin trochospiralés avec un test pluriloculaire pelotonné (Langlois, 2006) (Figure I.2).

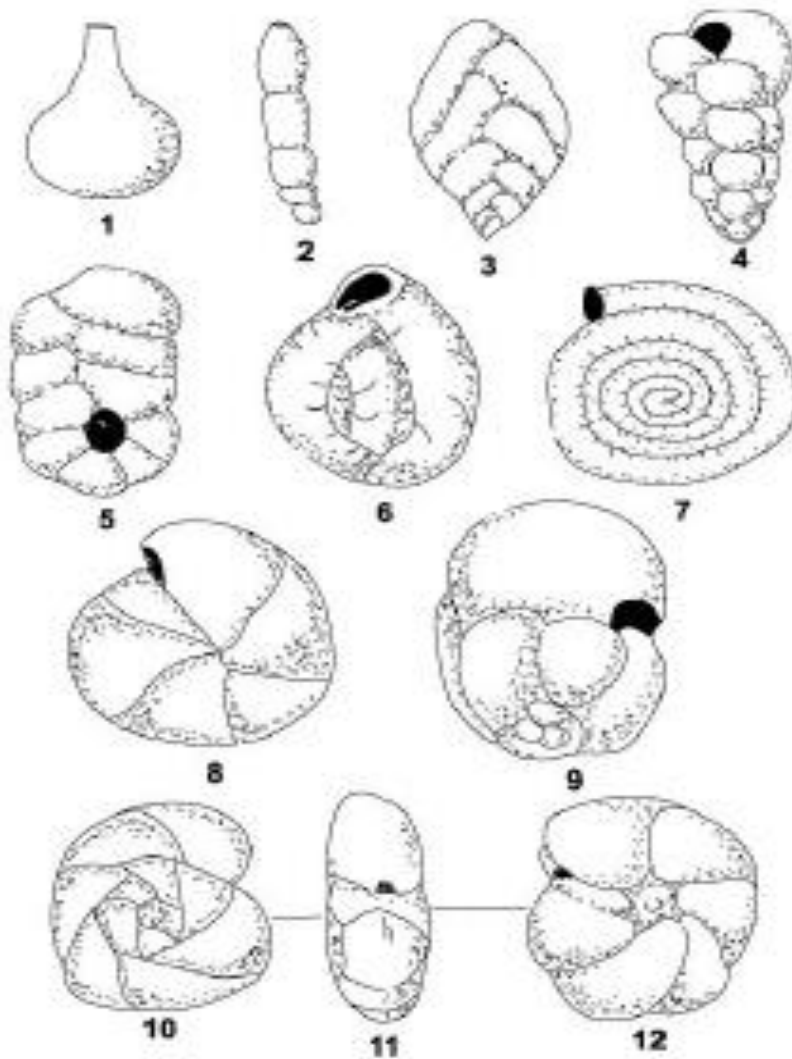
#### I.2.3.2. Type de test

Plusieurs types de tests peuvent exister (Figure I.4) :

- **Hyaline**, la paroi est perforée, lisse ou non, d'aspect vitreux, transparent ou translucide (Bellier et al., 2010) ; de faible teneur en Mg (ex. genre Cibicides et ordres : Carterinida, Spirillinida, Lagenida, Buliminida, Rotaliida et Globigerinida).

- **Porcelanée**, de haute teneur en Mg (ex. genre Peneroplis), la paroi est calcaire et a un aspect uniforme. Elle est imperforée, lisse et homogène, blanche à ambrée, brillante avec un aspect de porcelaine (ordre des Miliolida) (Bellier et al. 2010)

- **Agglutinés**, où les grains de sable sont liés par un ciment organique (Saraswati, 2021), la paroi a un aspect composite avec un agglutinat (grain de quartz, spicules,) emprunté au milieu et un ciment sécrété de nature chitinoïde ou calcique (ordre des Astrorhizida, Lituolida, Trochamminida et Textulariida).



**Figure I.2.** Diversité morphologique des Foraminifères.

1. Uniloculaire ; 2. Unisériel ; 3. Bisériel ; 4. Trisériel ; 5. Planispiralé à bisériel ; 6. Type miliolidés (pluriloculaire pelotonné se disposant dans plusieurs plans) ; 7. Planispiralé évolué ; 8. Planispiralés involute ; 9. Streptospiralés ; 10.11.12. trochospiralés (10 : vue dorsale ; 11 : vue latérale, 12 : vue ventrale) (Langlois, 2006)

### I.2.3.3. Structure

La structure des foraminifères benthiques comprend plusieurs éléments essentiels (Figure I.3) :

Loges et cloisons : Les loges communiquent entre elles par des orifices appelées Foramens. Ces loges sont séparées les unes des autres par des cloisons qui peuvent présenter différentes morphologies, allant de planes à ondulées ou même gaufrées. La dernière loge communique avec l'extérieur par une ou plusieurs ouvertures.

## CHAPITRE I : GÉNÉRALITES

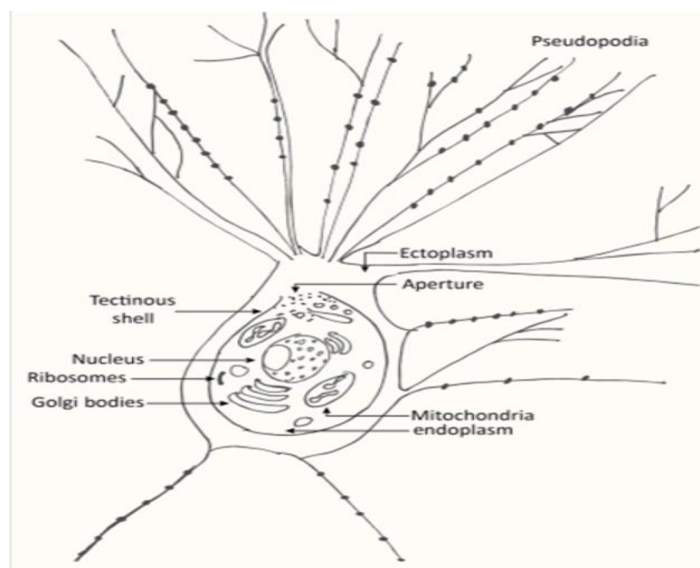
Ouverture : peut être simplement ronde, en fente, en croissant, radiée ou dendritique, quelque fois au sommet d'un col, bordée d'une lèvre lisse ou crénelée, ou particulièrement recouverte par des productions calcaires telles que des dents ou des bulles. Elle peut être, au contraire, multiple, avec plusieurs petits orifices disposés en file ou sans ordre. Sa position est variable ; elle peut être basale, terminale, suturale ou périphérique. Dans le cas d'un test trochospiralé, elle peut être médiane, ombilicale ou spirale. (Bellier et al. 2010)

Pseudopodes : ce sont des extensions filiformes rétractiles qui dépassent à travers les ouvertures du test. Ils sont filamenteux, fins granuleux ou réticulés. Les foraminifères utilisent des pseudopodes pour diverses fonctions, notamment la capture et l'engloutissement de proies, la locomotion, ainsi que la construction et la réparation du test. Leur structures et dispositions peuvent varier en fonction des espèces ([fr.geologyscience.com](http://fr.geologyscience.com))

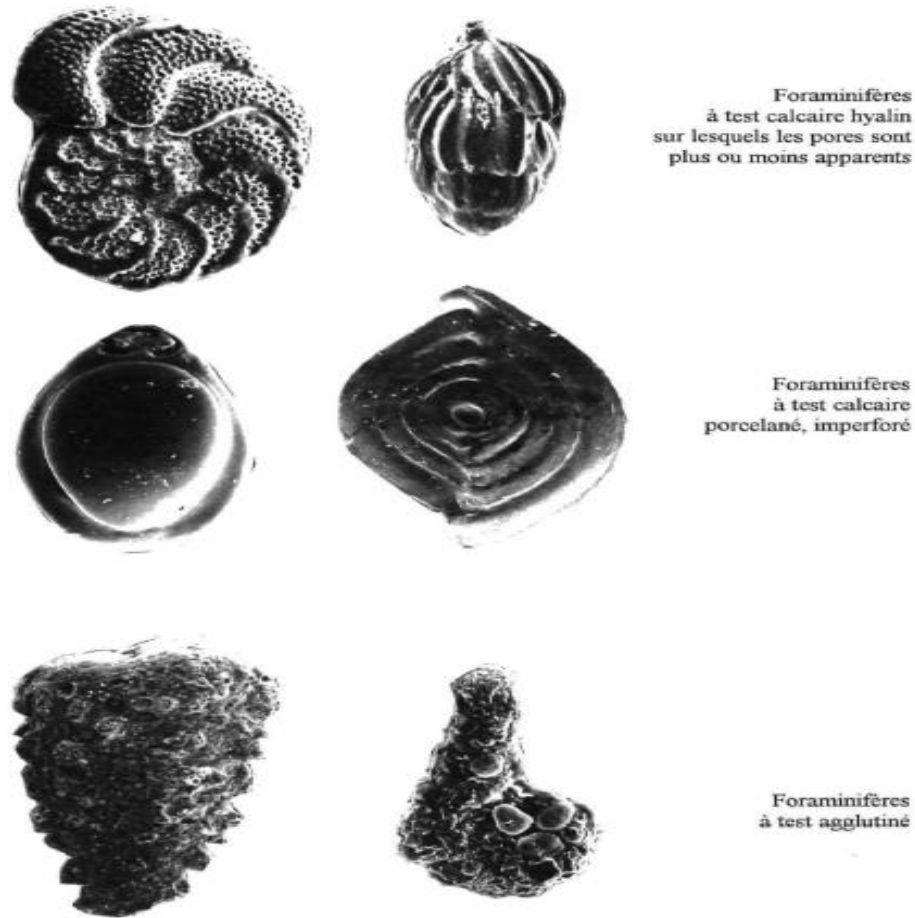
Noyau, cytoplasme et organites : le noyau abrite le matériel génétique et d'autres organites comme les mitochondries pour la production d'énergie et d'autres structures cellulaires pour des fonctions telles que la digestion et l'élimination des déchets. Le cytoplasme contient les organites cellulaires et est responsable de divers processus métaboliques, notamment la synthèse des protéines et d'autres molécules aux fonctions cellulaires. ([fr.geologyscience.com](http://fr.geologyscience.com))

Coloration : la couleur du test peut varier et est parfois utilisée comme élément de diagnostic pour l'identification des espèces. Elle peut être blanche, rose, brune ou autres selon le type de matériau qui compose le test. ([fr.geologyscience.com](http://fr.geologyscience.com))

Il est important de noter que la morphologie et l'anatomie des foraminifères peuvent varier considérablement entre différentes espèces et même au sein d'une même espèce en réponse aux conditions environnementales. Cette diversité est l'une des raisons pour lesquelles les foraminifères constituent des outils précieux pour les biologistes marins dans l'étude des écosystèmes et environnement marins passés et présents. ([fr.geologyscience.com](http://fr.geologyscience.com))



**Figure I.3.** Anatomie générale d'un foraminifère ((Saraswati, 2021)



**Figure I.4.** Différents tests de Foraminifères observés par un microscope électronique à balayage (Bourdillon, 1994)

### I.2.4. Mode de Vie et Nutrition

Certains foraminifères entretiennent des relations symbiotiques avec des algues photosynthétiques, des dinoflagellés, ou d'autres micro-organismes. Ces symbiotes vivent au sein du test des foraminifères fournissant des nutriments grâce à la photosynthèse.

Le cycle de vie est haplo-diplophasique (figure I.5), avec alternance d'une génération mononucléée haploïde (gamogonie) et d'une génération diploïde, plurinucléée (schizogonie). Les formes haploïdes sont appelées gamontes. Ceux-ci donnent, par division du noyau, des gamètes. La fusion de deux gamètes donne un individu diploïde, le schizonte, plurinucléé, qui se reproduit par mitose. Après méiose et division du cytoplasme autour de chaque noyau (schizogonie), les schizontes donnent de nouveaux gamontes.

Souvent, gamontes et schizontes se distinguent morphologiquement par leur taille totale et surtout par celle de leur loge initiale, centrale. Dans ce cas, les gamontes sont aussi appelés

## CHAPITRE I : GÉNÉRALITES

formes mégasphériques et les schizontes formes microsphériques. Cependant, dans certaines espèces, la phase sexuée (gamogonie) est absente (Langlois, 2006).

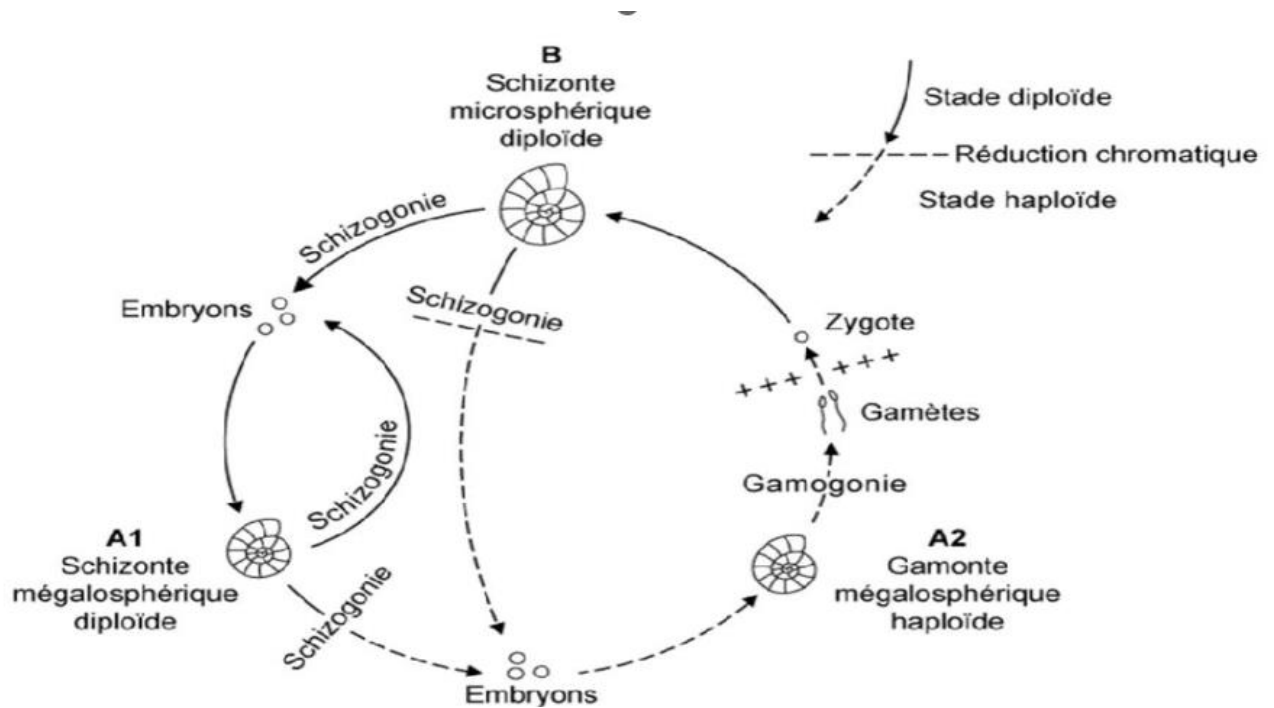


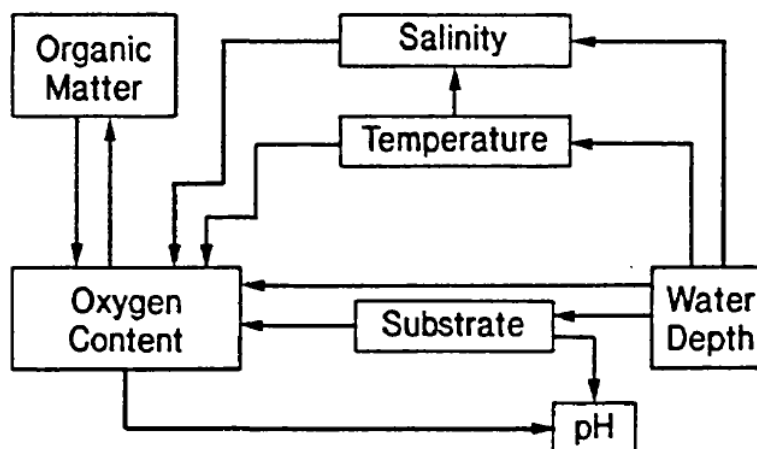
Figure I.5. Cycle de vie des Foraminifères benthiques (Bourdillon, 1994)

**La longévité des foraminifères, difficile à évaluer, est comprise entre 15 jours et 16 mois. Les tests de nombreux foraminifères sont partiellement dissous ou partiellement désintégrés pendant la phase de reproduction. (Bellier et al., 2010)**

**Qu'ils soient** dans la vase, fixés sur un bryzoaire, ou enfouis dans le sable, le **régime alimentaire des Foraminifères** présente des modes alimentaires variés, adaptés à leurs environnements. Ils s'alimentent en capturant les particules alimentaires par leurs pseudopodes. Selon Murray (1991), plusieurs types de nutrition se distinguent chez ces organismes :

- Herbivores, se nourrissant d'algues, de microalgues et de bactéries. Les herbivores actifs se déplacent sur le substrat. Les herbivores passifs sont des formes épifaunes sessiles qui capturent la nourriture au voisinage du site de fixation (Bellier et al., 2010)
- Suspensivores, fixés sur un substrat dur ou partiellement enfouis dans le sédiment, piègent les particules en suspension.
- Détritivores, qui sélectionnent les débris organiques et les bactéries. Ces foraminifères vivent généralement enfouis à une profondeur de 1 à 2 cm dans le sédiment (Gooday, 1993).
- Carnivores, consommant des petits arthropodes (comme les copépodes), des mues de mollusques et de crustacés, ainsi que d'autres Foraminifères.
- Omnivores, un mode alimentaire qui concerne de nombreux Foraminifères (Lee, 1980), qui alternent les modes alimentaires mentionnés ci-dessus.

Les Foraminifères benthiques sont des micro-organismes dont chaque espèce a des exigences écologiques bien précises qui dépendent de toutes les variables du milieu (Figure I.6)



**Figure I.6.** Principales variables environnementales contrôlant la répartition des foraminifères benthiques (Bourdillon, 1994)

### I.2.5. Distribution

Les foraminifères se trouvent dans les océans et les mers du monde entier et leur répartition ne se limite pas à des régions géographiques spécifiques ; ils sont abondants dans les eaux tempérées et tropicales, ainsi que dans les régions polaires et les fonds marins.

### I.2.6. Intérêt de l'étude des Foraminifères benthiques

Les foraminifères benthiques, en raison de leur sensibilité aux changements environnementaux, jouent un rôle clé dans la surveillance de la santé des écosystèmes marins. En tant que bioindicateurs de pollution et de changement climatiques. De plus, leur participation au cycle du carbone, par l'absorption du CO<sub>2</sub> lors de la formation de leurs coquilles calcaires, contribue à la régulation du climat, soulignant leur importance dans la régulation des processus climatiques.

La pollution organique modérée d'origine domestique ne dérange aucunement les foraminifères. Lorsqu'elle est forte, elle favorise leurs conditions de vie par un apport optimum de matière organique. La réponse des Foraminifères est alors une augmentation de la taille ainsi qu'une diversité supérieure). Lorsque la pollution est trop élevée, le milieu s'appauvrit en oxygène, ce qui favorise l'augmentation de l'acide et réduire ainsi la taille des espèces ainsi que leur diversité et un changement de leur composition spécifique où les espèces opportunistes prolifèrent. La pollution par les métaux lourds est celle qui perturbe le plus les Foraminifères, avec modification de la taille et apparition d'anomalies tératologiques (Bourdillon, 1994)

## CHAPITRE I : GÉNÉRALITES

---

La profondeur de leur répartition joue un rôle primordial dans leur écologie car elle affecte la quantité de lumière disponible, elle conditionne la pression hydrostatique ainsi que la disponibilité des nutriments.

Leurs exigences vis-à-vis de la disposition de l'oxygène dissous est variable. Il existerait des espèces oxyphiles comme le genre *Bolivina*, et d'autre tolérant l'hypoxie comme le genre *Bulimina* (Jorissen et al., 2007).

Parmi les Foraminifères benthiques, il existerait des espèces qui préfèrent les zones côtières en tolérant les variations de salinités comme le genre *Elphidium*. D'autre espèces serait indicateurs des courants profonds et vivraient à de profondeurs abyssales telles que le genre *Cibicides*.

Les foraminifères sont la proie d'autres espèces animales. Dans de nombreux milieux marins, ils constituent une part importante de la biomasse de la microfaune, bien que leur rôle en tant que ressource trophique reste encore mal compris (Altenbach et Sarnthain. 1989, Buzas et al., 1989).

Selon Lipps (1983), les principaux prédateurs de ce groupe d'espèces sont : d'autres Faminifères, des nématodes, des gastéropodes, des mollusques scaphopodes (*Dentalium* sp.) ainsi que des crustacés. Certains auteurs supposent que certains mollusques ingèrent les Foraminifères pour en assimiler le calcaire et non dans un but alimentaire.

Leur consommation serait accidentelle par les vers polychètes, les chitons, les nudibranches, les bivalves, les crinoïdes, les tuniciers et les poissons (Bourdillon, 1994).

## **CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES**

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

### II.1. Echantillonnage

Un échantillon de sédiment superficiel a été prélevé en saison hivernale, le 25 janvier 2025 par le scaphandre autonome (en plongée) sur un fond coquillier, à proximité d'un herbier de *Posidonia oceanica* et d'une grotte sous-marine, par 17 mètres de profondeur.

Ce site d'échantillonnage est situé à l'ouest des îlots au large du port de Tipaza (figure II.7) Sous les coordonnées géographiques suivantes : 36°35'48''N, 2°27'07''W. Lors de l'échantillonnage, la température de fond était de 20 °C et deux stations ont été choisies :

Site 1 : un fond détritique près d'un champ à Posidonie.

Site 2 : un fond détritique à l'intérieur d'une grotte semi obscure. Cette grotte, orientée nord-ouest, a la forme d'un tunnel de 2,5m de long. L'entrée de la grotte a une ouverture de 85cm tandis que la hauteur maximale à l'intérieur est de 87cm.

Le prélèvement a été effectué à l'aide d'un flacon en plastique de 60 cm<sup>3</sup> (figure II.8) en prélevant les 2 cm superficiels de sédiment. Par la suite, Les échantillons ont été acheminés au laboratoire de l'ENSSMAL pour traitement analytique.



**Figure II.7.** Zone d'échantillonnage, au large du port de Tipaza (google Earth)

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

---



**Figure II.8.** Flacons des deux échantillons

### II .2. Traitement des échantillons

Le traitement analytique a nécessité l'utilisation des équipements (figure II.9) et consommables suivants

- Étuve de séchage
- Loupe binoculaire
- Boîtes de Pétri
- Aiguille histologique à pointe fine
- Spatule
- Pince fine
- Des tubes Eppendorf



**Figure II.9.** Matériel utilisé au laboratoire (ENSSMAL)

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

Au laboratoire, l'échantillon est séché dans une étuve réglée à 60 °C pendant une heure. L'observation morphologique initiale est réalisée sous loupe binoculaire, à des grossissements compris entre 20x et 40x.

L'identification morphologique des Foraminifères benthiques a été réalisée en se basant sur des planches d'identifications de plusieurs auteurs tels que Moullade et al. (1998) ; Debenay et al. (2001) ; Fontanier (2003) ; Camasho et al. (2015). Quelques sites ont aussi été utilisé :

- WoRMS;
- <https://foraminifera.eu> (Figure II .10).
- <https://www.gbif.org/fr/species>

### II.3. Analyse qualitative

En premier lieu, une liste est dressée afin de recenser toutes les espèces identifiées dans chaque site. Ces derniers seront classés par familles et ordre.



Figure II.10. Le site web [foraminifera.eu](https://foraminifera.eu)

### II.4. Analyse quantitative

Cette étude quantitative est réalisée par l'application de plusieurs calculs et indices.

- Etablir le nombre d'individus dans chaque site et pour chaque espèce donnée ;

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

---

- Donner un aperçu de la contribution de chaque genre de foraminifère dans les sites échantillonnés en exprimant leur pourcentage ;
- Donner la proportion de chaque type de test (agglutiné, hyalin ou porcellané) ; et application du diagramme ternaire par le XLSTAT ;
- Calculer les indices écologiques basés sur la diversité : richesse spécifique et équitabilité ;
- Etablir l'indice d'océanité ;
- Calculer les indices biotiques basés sur le groupe des foraminifères.

### II.4.1. Diagramme ternaire

Murray (1991) note que dans les domaines infra- et circa- littoraux, la proportion relative des tests hyalins, porcellanés et agglutinés permet d'évaluer la température de l'eau. En effet, la distinction des trois types de natures des tests, informe sur les conditions physico-chimiques ambiantes. : un point situé à chaque sommet du triangle signifie que la population comporte 100% du type concerné, sur les bases du triangle 0% du type indiqué au sommet opposé). Il ressort nettement de ces diagrammes que les biocénoses dans lesquelles dominent les hyalins et les porcellanés correspondent aux mers chaudes, alors que les hyalins et les agglutinés prédominent dans les mers froides.

### II.4.2. Calcul des indices écologiques

#### II.4.2.1. Richesse spécifique

Cet indice correspond au nombre d'espèces présentes dans un écosystème, en tout ou en partie. Elle représente une mesure simple mais essentielle de la biodiversité. Il est possible de l'exprimer de deux façons (Ramade, 2009) :

- **La richesse spécifique totale**, qui indique le nombre total d'espèces différentes identifiées dans un échantillon donné,
- **La richesse spécifique moyenne**, qui correspond au nombre moyen d'espèces observées par échantillon.

Cette notion est largement utilisée pour évaluer l'état écologique d'un milieu. Elle joue un rôle clé dans les actions de conservation de la biodiversité et dans l'analyse des impacts liés aux activités humaines. Le plus souvent, on estime cette richesse en comptant le nombre d'espèces détectées sur un station à un moment donné.

Pour cette fin, l'indice de Shannon ( $H'$ ) est utilisé. Ce dernier est employé pour quantifier la diversité spécifique d'une communauté. Il prend en compte à la fois **la richesse spécifique** (nombre d'espèces) et **l'abondance relative** de chaque espèce (Shannon, 1948)

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

---

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \cdot \log_2(p_i) \quad \text{Et} \quad P_i = n_i / N$$

Où :

- S = nombre total d'espèces
- $P_i$  = proportion d'individus de l'espèce  $i$  par rapport au total des individus

Plus  $H'$  est grand, plus la diversité est élevée. L'indice  $H'$  est minimal (= 0) lorsque tous les individus appartiennent à une seule espèce.

### II.4.2.2. Indice d'équitabilité ou de Pielou

L'indice de Pielou ou d'équitabilité mesure la répartition des individus entre les espèces. Elle indique si les espèces sont également représentées (Pielou, 1966)

Cet indice ( $J'$ ) peut varier de 0 à 1, il est maximal quand les espèces ont des abondances identiques dans le peuplement et il est minimal quand une seule espèce domine tout le peuplement.

Il est calculé comme suit :

$$J' = H' / H'_{\max} \quad \text{et} \quad H'_{\max} = \ln S$$

Où

$H'_{\max}$  est la valeur théorique

$H'$  est l'indice de Shannon et  $S$  représente le nombre d'espèces.

Si  $J'=1$ , cela signifie que toutes les espèces ont une abondance égale. Dans le cas où  $J'$  serait proche de 0, ceci indique qu'une ou quelques espèces dominent.

### II.4.3. Indice d'océanité

L'indice d'océanité d'une population de foraminifères (Gibson, 1989) est la relation quantitative entre le nombre de plancton et le nombre total d'individus (benthiques + plancton) dans les sédiments, sous la formule :

$$i = P / (P + B)$$

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

---

P est le nombre de foraminifères planctoniques dans un volume défini de sédiments ; B est le nombre de foraminifères benthiques dans le même volume. Le total de P+B doit être compris entre 100 et 300.

La productivité optimale des foraminifères planctoniques se trouve dans les eaux marines éloignées des côtes. Les foraminifères benthiques prolifèrent sur les plateformes continentales. L'indice d'océanité permet donc d'évaluer la bathymétrie et, par conséquent, les différents environnements rencontrés dans un profil englobant les étendues allant de la plate-forme continentale au domaine abyssal (Bellier et al. 2010).

### II.4.4. Calcule des indices biotiques basés sur le groupe des foraminifères.

Parmi les indices biotiques, il existe des indices relatifs aux communautés de foraminifères benthiques. Ces derniers sont beaucoup utilisés en bio-monitoring (Parent, 2019).

#### II.4.4.1. Indice de stress Foram

Cet indice se base sur les espèces indicatrices, l'indice de stress foramique (ISF, Dimiza et al., 2016), divise la faune en deux groupes :

- Les espèces sensibles au stress et
- Les espèces tolérantes au stress.

L'attribution des taxons à ces deux groupes repose sur des données issues de la littérature. La valeur de l'ISF est alors définie comme suit (Parent, 2019) :

$$FSI = (10 * S_{en}) + (S_{tr})$$

Où :

$S_{en}$  représente la proportion d'espèces sensibles au stress ;

$S_{tr}$  la proportion d'espèces tolérantes au stress.

La valeur de l'indice est largement déterminée par la proportion d'espèces sensibles au stress. La valeur la plus élevée du FSI (10) correspond à des conditions environnementales optimales, tandis que la valeur la plus basse (1) devrait correspondre à des environnements fortement dégradés. Une valeur de 0 est attribuée aux échantillons en l'absence de faune vivante. Tel qu'il est défini, le FSI est davantage une mesure de l'absence d'impact. Les différents résultats de cet indice, résumés dans le tableau II.1, traduisent la qualité du milieu.

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

**Tableau II .1.** Interprétation de l'indice FSI (selon Dimiza et al. 2016)

FSI	$\geq 9$	$9 \geq x > 5,5$	$5,5 \geq x > 2$	$2 \geq x \geq 1$	0
Qualité du milieu	Très bonne	Bonne	Modeste	Pauvre-mauvaise	Azoïque

Afin de respecter au mieux la philosophie de l'indice (à savoir considérer toutes les espèces, qu'elles soient tolérantes ou sensibles au stress), nous avons décidé d'exclure ces taxons non assignés de l'ensemble de données, avant de recalculer les proportions d'espèces (à l'instar de la procédure suivie dans Foram-AMBI). Par conséquent, la somme des proportions d'espèces sensibles et tolérantes au stress est égale à 1.

### II.4.4.2. Indice Foram-AMBI

Cette catégorie d'indices biotique se base sur l'assignation des espèces à des groupes écologiques (EG) selon leurs réactions au degrés d'enrichissement en matière organique que subit le milieu (Parent, 2019):

- Les espèces sensibles (EGI) : ces espèces ne supportent pas le moindre enrichissement en matière organique. Les espèces de ce groupe disparaissent rapidement en cas d'augmentation du taux de matière organique ou de diminution du taux d'oxygène. Elles ne sont présentes que dans des conditions oligotrophes ;
- Les espèces indifférentes (EGII) : ces espèces sont présentes dans les milieux peu perturbés et supportent un début d'enrichissement en matière organique. Elles ne montrent cependant jamais une préférence pour des conditions d'enrichissement organique.
- Les espèces opportunistes du 3e ordre (EGIII) : ces espèces peuvent vivre dans des milieux perturbés par des enrichissements en matière organique. Elles peuvent être présentes dans des conditions oligotrophes mais prolifèrent dans des conditions plutôt eutrophes.
- Les espèces opportunistes de 2e et 1er ordre (EGIV et EGV) : ces espèces présentent une forte capacité à proliférer rapidement lors des apports importants de matière organique. Elles sont présentes dans les conditions les plus eutrophes, et tolèrent des conditions de forte hypoxie ou d'anoxie.

Cet indice se calcul comme suit :

$$\text{Foram-AMBI} = (0 \cdot \text{EGI}) + (1,5 \cdot \text{EGII}) + (3 \cdot \text{EGIII}) + (4,5 \cdot \text{EGIV}) + (6 \cdot \text{EGV})$$

Afin de trouver les espèces qui correspondent à chaque groupe, la liste donnée par Jorissen et al. (2018) est utilisée. L'interprétation des résultats en fonction de la valeur trouvée, est indiquée dans le tableau II.2

## CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

---

**Tableau II.2.** Interprétation de l'indice Foram-AMBI (selon Borja et al., 2003)

Foram-AMBI	$\leq 1,2$	$1,2 < x < 3,3$	$3,3 \leq x < 4,3$	$4,3 < x < 5,5$	$\geq 5,5$
Qualité du milieu	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvais

## **CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les sédiments prélevés au niveau des deux sites sont de nature coquillier, particulièrement celui pris sous la grotte. Il est constitué de débris de coquille lamelibranches, de gastéropodes, d'épines ou de tests d'échinodermes, de bryozoaires, de rare ostracodes, des tubes d'annélides, des carapaces de crabes ainsi que de foraminifères.

### III.1. Analyse qualitative

Une liste est dressée comportant les espèces identifiées dans les deux sites (posidonie et grotte). Ces espèces sont résumés dans les tableaux III.3 et III .4. en fonction de leur familles et genres. Quelques photographies sont illustrées sur la figure III .11

**Tableau III.3.** Foraminifères identifiés au site de Posidonie

Classe	Ordre	Famille	Genre	Espèce
<u>Globothalamea</u>	<u>Rotaliida</u>	Rosalinidae	<i>Rosalina</i>	<i>Rosalina sp (Orbigny, 1826)</i>
<u>Globothalamea</u>	<u>Rotaliida</u>	Nummulitidae	<i>Operculina</i>	<i>Operculina sp(Orbigny, 1826)</i>
<u>Globothalamea</u>	<u>Rotaliida</u>	Ammoniidae	<i>Ammonia</i>	<i>Ammonia sp(Brünnich, 1771)</i>
<u>Globothalamea</u>	<u>Rotaliida</u>	Amphistegenidae	<i>Amphistegina</i>	<i>Amphistegina sp (Orbigny, 1826)</i>
<u>Globothalamea</u>	<u>Rotaliida</u>	Discorbidae	<i>Discorbis</i>	<i>Discorbis sp(Lamarck, 1804)</i>
<u>Globothalamea</u>	<u>Rotaliida</u>	Cibicididae	<i>Cibicides</i>	<i>Cibicides sp( Natland, 1938)</i>
<u>Globothalamea</u>	<u>Rotaliida</u>	Planorbulinidae	<i>Planorbulinella</i>	<i>Planorbulinella larvata(Parker &amp; Jones, 1865)</i>
<u>Globothalamea</u>	<u>Rotaliida</u>		<i>Planorbulina</i>	<i>Planorbulina mediterraneensis(Orbigny, 1826)</i>
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>	Hauerinidae	<i>Quinqueloculina</i>	<i>Quinqueloculina seminulum(Linnaeus, 1758)</i>
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>			<i>Quinqueloculina dunkerquiana (Heron-Allen &amp; Earland, 1930)</i>
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>			<i>Quinqueloculina stelligena (Wiesner, 1923)</i>
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>			<i>Quinqueloculina trigomula (erquem, 1876)</i>
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>			<i>Quinqueloculina laevigata d'Orbigny, 1839</i>
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>			<i>Quinqueloculina agglutinans d'Orbigny, 1839</i>
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>			<i>Quinqueloculina bideentata d'Orbigny, 1839</i>
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>		<i>Triloculina</i>	<i>Triloculina trigonula (Lamarck, 1804)</i>
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>		<i>Lachlanella</i>	<i>Lachlanella undulata(d'Orbigny, 1852)</i>
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>			<i>Lachlanella bicornis (d'Orbigny, 1852)</i>
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>		<i>Siphonaperta</i>	<i>Siphonaperta quadrata (Nørvang, 1945)</i>
<u>Globothalamea</u>	<u>Rotaliida</u>	Elphidiidae	<i>Elphidium</i>	<i>Elphidium sp(Cushman &amp; Valentine, 1930)</i>
<u>Globothalamea</u>	<u>Textulariida</u>	Textulariidae	<i>Textularia</i>	<i>Textularia sp(Zheng &amp; Fu, 2001)</i>
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>	Cribrolinoïdidae	<i>Adelosina</i>	<i>Adelosina mediterraneensis (Le Calvez &amp; Le Calvez, 1958)</i>
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>			<i>Adelosina longirostra (d'Orbigny, 1826)</i>
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>			<i>Adelosina dubia (d'Orbigny in Fornasini, 1905)</i>

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>			<i>Adelosina elegans</i> (Wiesner, 1923)
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>			<i>Adelosina sp</i> (d'Orbigny, 1826)
<u>Tubothalamea</u>	<u>Spirillinida</u>	Spirillinidae	<i>Sejuncetella</i>	<i>Sejuncetella sp</i> (Loeblich & Tappan, 1957)
<u>Tubothalamea</u>	<u>Spirillinida</u>	Ammodiscidae	<i>Rapmanina</i>	<i>Rapmanina charoides</i> (Jones & Parker, 1860)
<u>Globothalamea</u>	<u>Rotaliida</u>	Cassidulinidae	<i>Cassidulina</i>	<i>Cassidulina sp</i> (d'Orbigny, 1826)
<u>Tubothalamea</u>	<u>Miliolida</u>	Spiroloculinidae	<i>Spiroloculina</i>	<i>Spiroloculina depressa</i> (d'Orbigny, 1826)



*Adelosina sp*



*Operculina sp*



*Adelosina longirostra*



*Adelosina mediterraneensis*



*Ammonia beccari*



*Elphidium sp*



*Lachlanella undulata*



*Edentostomina sp*



*Triloculina trigonula*



*Reusoolina laevis*

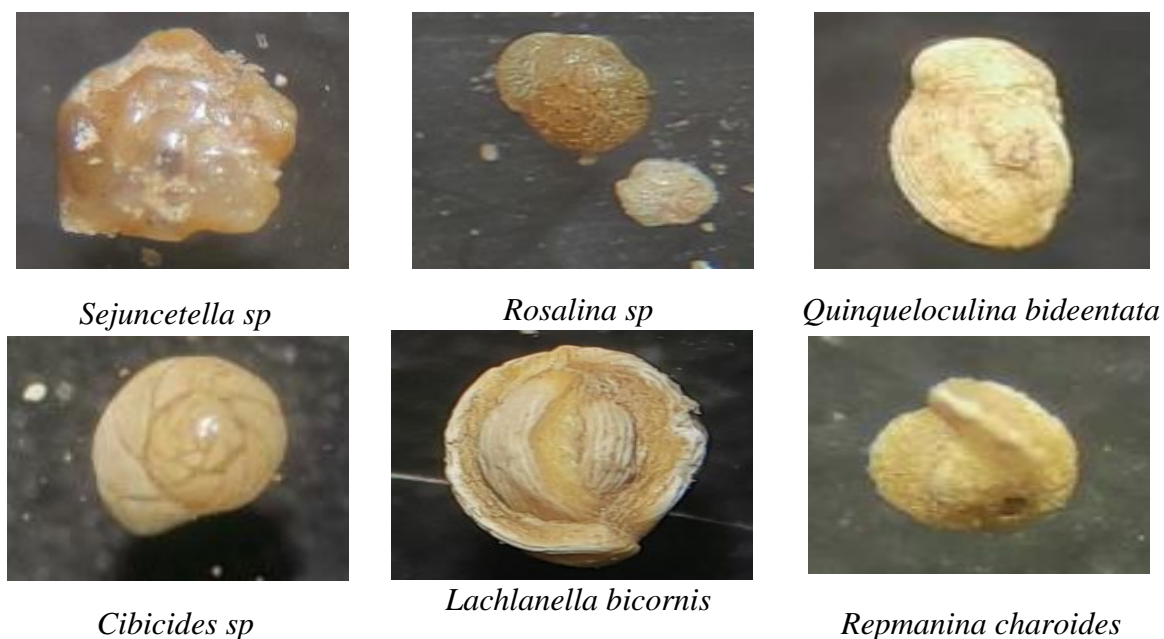


*Quinqueloculina seminulum*



*siphonaperta quadrata*

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS



**Figure III.11.** Photographies de quelques espèces de Foraminifères identifiées

Ce site se distingue par une richesse notable en foraminifères benthiques, avec un total de 30 espèces appartenant à 19 genres et 15 familles. Les **Hauerinidae**, Cribrolinoididae sont représentées par plusieurs espèces du genre *Quinqueloculina*, et *Adelosina*.

La présence des espèces comme *Ammonia sp* et *Elphidium sp*, est typique des milieux côtiers marins et suggère un environnement **relativement stable, bien oxygéné et favorable au développement biologique** (Jorissen, et al., 2007).

Ces résultats rejoignent ceux de Langer et al. (2013) qui soulignent également la prédominance des Hauerinidae dans les herbiers de posidonies en Méditerranée, mettant en avant leurs importances écologiques dans ces habitats.

Par ailleurs, la détection de *Amphistegina sp*. Confirme les conditions environnementales car il s'agit d'une espèce bioindicatrice des milieux bien éclairés et peu profonds comme l'a souligné Murray (2006). Cette dernière espèce ainsi que *Operculina sp* semblent être des espèces symbiotiques d'après Langer (2008) et indicatrices d'un milieu photiques, bien oxygéné et à faible turbidité selon le même auteur.

En comparant ce site avec la précédente, le sédiment sous grotte contient une **diversité moindre**, avec 21 espèces recensées sous 16 genres et 11 familles.

Au total 42 espèces ont été identifiées durant la saison hivernale. Camacho et al. (2015) ont recensé 49 espèces au sud-ouest de l'Espagne en hiver et en été.

## **CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

Certaines espèces comme *Ammonia beccarii* et *Elphidium crispum* y sont particulièrement abondantes. Camacho et al (2015) soulignent aussi la fréquence importante du genre *Ammonia*, une espèce ubiquiste calcaire. Ces taxons (*Ammonia* et *Elphidium*) sont fréquemment associés à des **milieux plus fermés ou instables**, où les **conditions environnementales peuvent être plus contraignantes** (Jorissen, 1987). Sartorio et Venturini (1988), notent la prédominance des genres *Ammonia*, *Elphidium* et *Quinqueloculina*, caractéristiques des proximités des rivages dans les mers épicontinentales.

**Tableau III.4.** Foraminifères identifiés à l'intérieur de la grotte

<b>Famille</b>	<b>Genre</b>	<b>Espèce</b>
Ammoniidae	<i>Ammonia</i>	<i>Ammonia beccarii</i>
Ellipsolagenidae	<i>Fissurina</i>	<i>Fissurina marginata</i>
Rosalinidae	<i>Rosalina</i>	<i>Rosalina bradyi</i>
Cribrolinoïdidae	<i>Adelosina</i>	<i>Adelosina longirostra</i>
		<i>Adelosina mediterraneensis</i>
		<i>Adelosina sp</i>
Elphidiidae	<i>Elphidium</i>	<i>Elphidium crispum</i>
		<i>Elphidium clavatum</i>
		<i>Elphidium hispidulum</i>
Cibicididae	<i>Cibicides</i>	<i>Cibicides refulgens</i>
Ophthalmidiidae	<i>Edentostomina</i>	<i>Edentostomina sp</i>
Lagenidae	<i>Reusoolina</i>	<i>Reusoolina laevis</i>
Planorbulinidae	<i>Planorbulina</i>	<i>Planorbulina mediterraneensis</i>
Hauerinidae	<i>Miliolinella</i>	<i>Miliolinella subrotunda</i>
	<i>Quinqueloculina</i>	<i>Quinqueloculina stelligera</i>
		<i>Quinqueloculina seminula</i>
	<i>Siphonaperta</i>	<i>Siphonaperta quadrata</i>
	<i>Triloculina</i>	<i>Triloculina trigonula</i>
	<i>Lachlanella</i>	<i>Lachlanella undulata</i>
<i>Massilina</i>	<i>Massilina secans</i>	
Trochamminidae	<i>Trochammina</i>	<i>Trochammina sp</i>

*Trochammina sp.*, *Edentostomina sp.* Et *Fissurina marginata* sont généralement associées à des **conditions plus variables**, voire **stressantes** : faible lumière, apports terrigènes, hypoxie (Jorissen et al., 1992)

Les observations s'accordent avec celles de Debenay et al. (2001), qui notent la forte occurrence de *Ammonia beccarii* dans des zones influencées par des apports terrigènes. *Trochammina sp.* Serait souvent rencontrée dans des eaux **saumâtres ou influencées par le continent** (Scott et al., 2001). Ces auteurs notent que cette espèce suggère une interaction plus marquée avec les eaux littorales ou dulçaquicoles.

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### III.2. Analyse quantitative

Dans cette analyse, plusieurs indices et relations ont été calculées.

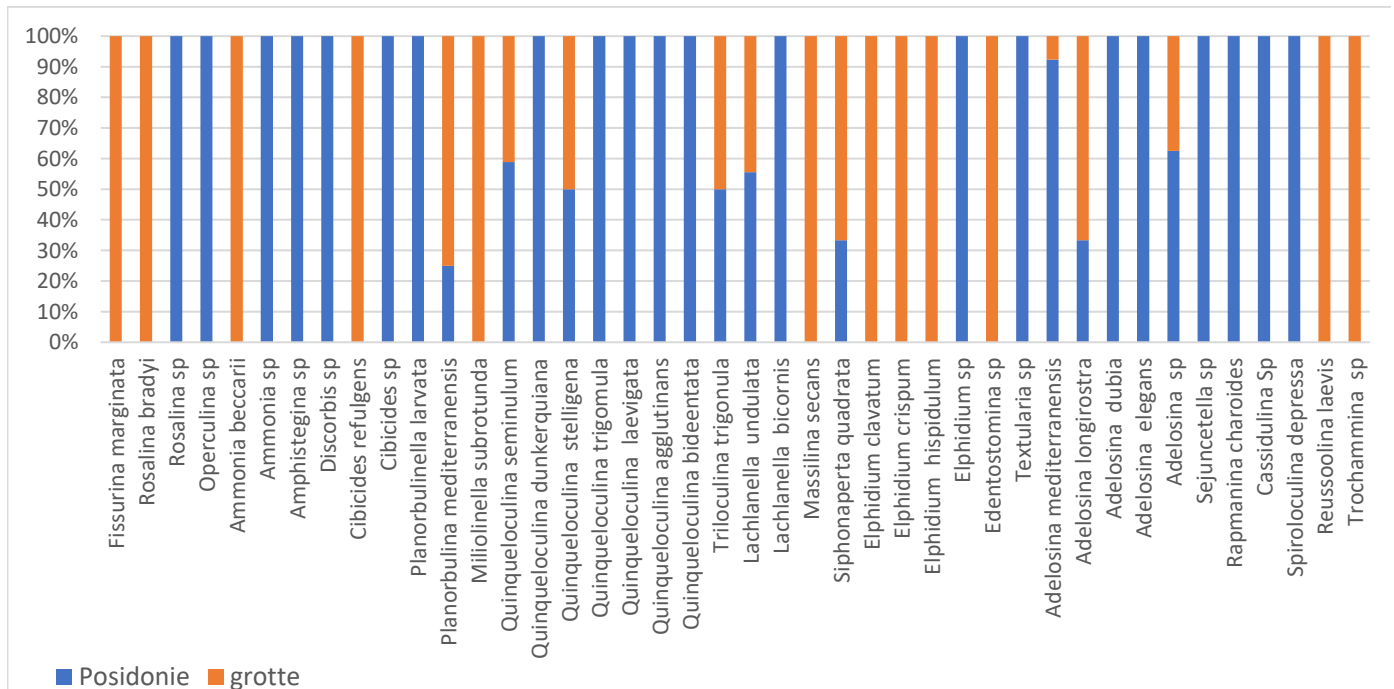
#### III.2.1. Nombre des espèces et nombre des individus

Au total, la présente étude a permis d'identifier Les sédiments au niveau de la posidonie présentent 30 espèces avec 164 individus dominée par *Ammonia sp.* (22 individus), *Rosalina sp* et *Elphidium sp* avec 14 individus.

Sous la grotte, le **nombre total d'individus atteint 76 représentés par 21 espèces. Les espèces la plus dominantes seraient *Ammonia beccarii* (12 individus) et *Lachlanella undulata* (8 individus).**

En considérant le volume d'échantillonnage, la densité de la population de foraminifères dans le site 1 est de 2,73 soit 3 individus par cm<sup>3</sup>, et dans le site 2 sous grotte, cette densité est de 1,26 soit 1 individu par cm<sup>3</sup>.

Le tableau III.5 résume cette diversité spécifique entre les deux sites. Ces observations sont illustrées dans la figure III.12.



**Figure III.12.** Contribution en nombre d'individus de chaque espèce au niveau des deux sites

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les espèces rencontrées près de la posidonie et absentes sous la grotte sont en nombre de 21, il s'agit de:

*Rosalina sp* ; *Operculina sp* ; *Ammonia sp* ; *Amphistegina sp* ; *Discorbis sp* ; *Cibicides sp* ; *Planorbulinella larvata* ; *Quinqueloculina dunkerquiana* ; *Quinqueloculina trigomula* ; *Quinqueloculina laevigata* ; *Quinqueloculina agglutinans* ; *Quinqueloculina bideentata* ; *Lachlanella bicornis* ; *Elphidium sp* ; *Textularia sp* ; *Adelosina dubia* ; *Adelosina elegans* ; *Sejuncetella sp* ; *Rapmanina charoides* ; *Cassidulina Sp* et *Spiroloculina depressa*.

De la même manière, 12 espèces sont présente dans le sédiment sous grotte et absentes près de la posidonie, à savoir :

*Fissurina marginata* ; *Rosalina bradyi* ; *Ammonia beccarii* ; *Cibicides refulgens* ; *Miliolinella subrotunda* ; *Massilina secans* ; *Elphidium clavatum* ; *Elphidium crispum* ; *Elphidium hispidulum* ; *Edentostomina sp* ; *Reusoolina laevis* ; *Trochammina sp*

**Tableau III.5.** Nombre d'individus en fonction des espèces de foraminifères observés au niveau des deux sites.

Espèce	Nbre d'ind.		Espèce	Nbre d'ind.	
	St 1	St 2		St 1	St 2
<i>Fissurina marginata</i>	0	1	<i>Lachlanella undulata</i>	10	8
<i>Rosalina bradyi</i>	0	4	<i>Lachlanella bicornis</i>	3	0
<i>Rosalina sp</i>	14	0	<i>Massilina secans</i>	0	3
<i>Operculina sp</i>	2	0	<i>Siphonaperta quadrata</i>	1	2
<i>Ammonia beccarii</i>	0	12	<i>Elphidium clavatum</i>	0	4
<i>Ammonia sp</i>	22	0	<i>Elphidium crispum</i>	0	4
<i>Amphistegina sp</i>	10	0	<i>Elphidium hispidulum</i>	0	6
<i>Discorbis sp</i>	5	0	<i>Elphidium sp</i>	14	0
<i>Cibicides refulgens</i>	0	1	<i>Edentostomina sp</i>	0	2
<i>Cibicides sp</i>	8	0	<i>Textularia sp</i>	2	0
<i>Planorbulinella larvata</i>	5	0	<i>Adelosina mediterraneensis</i>	12	1
<i>Planorbulina mediterraneensis</i>	1	3	<i>Adelosina longirostra</i>	1	2
<i>Miliolinella subrotunda</i>	0	1	<i>Adelosina dubia</i>	3	0
<i>Quinqueloculina seminulum</i>	10	7	<i>Adelosina elegans</i>	4	0
<i>Quinqueloculina dunkerquiana</i>	3	0	<i>Adelosina sp</i>	10	6
<i>Quinqueloculina stelligena</i>	3	3	<i>Sejuncetella sp</i>	1	0
<i>Quinqueloculina trigomula</i>	1	0	<i>Rapmanina charoides</i>	1	0
<i>Quinqueloculina laevigata</i>	3	0	<i>Cassidulina Sp</i>	1	0
<i>Quinqueloculina agglutinans</i>	5	0	<i>Spiroloculina depressa</i>	3	0
<i>Quinqueloculina bideentata</i>	2	0	<i>Reusoolina laevis</i>	0	1
<i>Triloculina trigonula</i>	4	4	<i>Trochammina sp</i>	0	1

Nbre d'ind. : nombre d'individus ; St : site

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### III.2.2. Proportion des genres

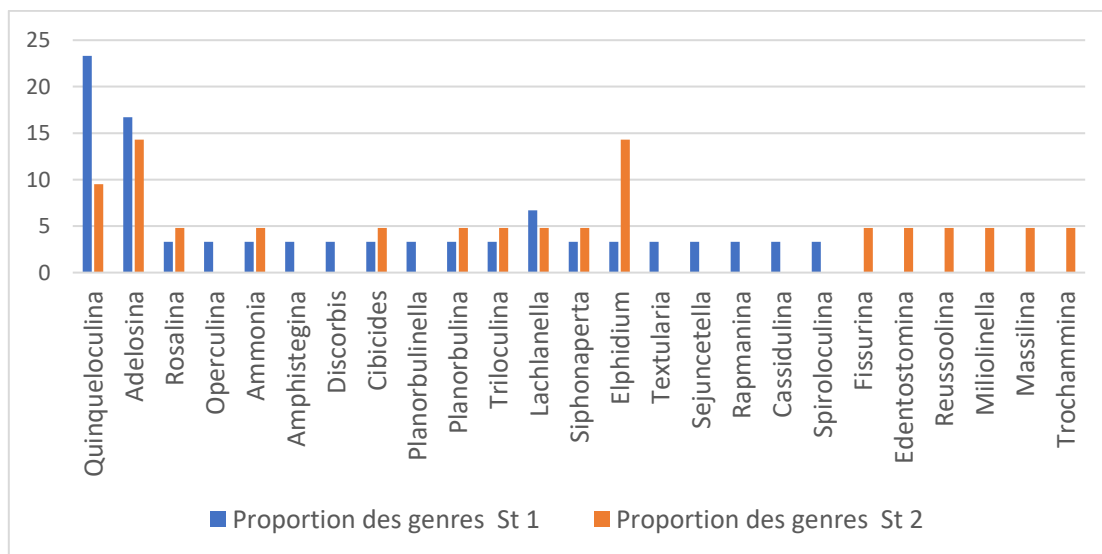
Un calcul des pourcentages des genres a semblé utile afin de donner un aperçu sur la prédominance de ces derniers au niveau du site d'échantillonnage. Le tableau III.6 suivants montrent le résultat et la figure III.13 les illustre.

Le site **1** montre une forte dominance de *Quinqueloculina* (23.3%) et de *Adelosina* (16.7%) ce qui est typique des environnements côtiers peu profonds (Murray, 2006). Une étude similaire dans la Méditerranée (Frontalini et al., 2018) a également noté la dominance de *Quinqueloculina* et *Adelosina*, corroborant nos résultats. Le genre *Elphidium* et *Adelosina* prédominent au niveau du site 2, sous grotte avec 14,3% chacun. Cependant, contrairement aux études menées par Jorissen (1987) en Méditerranée nord occidentale, le genre *Ammonia* et *Cibicides* sont moins abondants.

**Tableau III.6.** Proportion des genres de foraminifères calculée au niveau des deux sites

Genre	Proportion des genres (en %)	
	St 1	St 2
<i>Quinqueloculina</i>	<b>23.3</b>	9.5
<i>Adelosina</i>	<b>16.7</b>	<b>14.3</b>
<i>Rosalina</i>	3.3	4.8
<i>Operculina</i>	3.3	0
<i>Ammonia</i>	3.3	4.8
<i>Amphistegina</i>	3.3	0
<i>Discorbis</i>	3.3	0
<i>Cibicides</i>	3.3	4.8
<i>Planorbulinella</i>	3.3	0
<i>Planorbulina</i>	3.3	4.8
<i>Triloculina</i>	3.3	4.8
<i>Lachlanella</i>	6.7	4.8
<i>Siphonaperta</i>	3.3	4.8
<i>Elphidium</i>	3.3	<b>14.3</b>
<i>Textularia</i>	3.3	0
<i>Sejuncetella</i>	3.3	0
<i>Rapmanina</i>	3.3	0
<i>Cassidulina</i>	3.3	0
<i>Spiroloculina</i>	3.3	0
<i>Fissurina</i>	0	4.8
<i>Edentostomina</i>	0	4.8
<i>Reussolina</i>	0	4.8
<i>Miliolinella</i>	0	4.8
<i>Massilina</i>	0	4.8
<i>Trochammina</i>	0	4.8

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS



**Figure III.13.** Proportion des genres de foraminifères au niveau des deux sites

### III.2.3. Proportion des types de test avec de diagramme ternaire

Le type de test de chaque espèce est identifié afin d'être comptabilisé dans sa catégorie (voir annexe 1). Cette opération a permis de dresser le tableau III.7.

Dans le sédiment du site 1 (posidonie), 10 espèces ont un test hyalin, 17 à test porcelainé et 3 à test agglutinée. Tandis que le sédiment sous grotte, celui-ci présente 9 espèces à test hyalin, 10 porcelainé et 2 espèces à test agglutiné.

**Tableau III.7.** Proportion des types de test au niveau des deux sites

Site	Hyalin	Porcelainé	Agglutiné
Site 1	0,33	0,57	0,1
Site 2	0,43	0,48	0,09

*Site 1 : Fond à posidonie ; Site 2 : Fond sous grotte*

Ce tableau a permis de réaliser la figure III.15.

La proportion des foraminifères à test agglutiné est très proche entre les deux sites (Figure III.14). Dans le site à posidonie, la proportion des espèces porcelainées est plus importante que les espèces à test hyalin. Il semblerait aussi que le sédiment de l'intérieur de la grotte ait des pourcentages proches entre les foraminifères à test hyalin et ceux à test porcelainé.

La prédominance des tests porcelainé en site 1 et l'importance des tests hyalins en site 2 est expliquée par Bellier et al. (2010). Ces derniers notent qu'il existerait une liaison entre la nature du test et l'éclairement ; chez les porcelainés, la lumière est filtrée car trop importante (ces foraminifères s'adaptent à de très faibles profondeurs d'eau dans les régions très ensoleillées) ;

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

chez les hyalins, elle peut être canalisée par les cristaux du test (adaptation à une plus faible luminosité). D'autre part, ces auteurs relèvent que les biocénoses dans lesquelles dominent les hyalins et les porcelainés correspondent aux mers chaudes, alors que les hyalins et les agglutinés prédominent dans les mers froides.

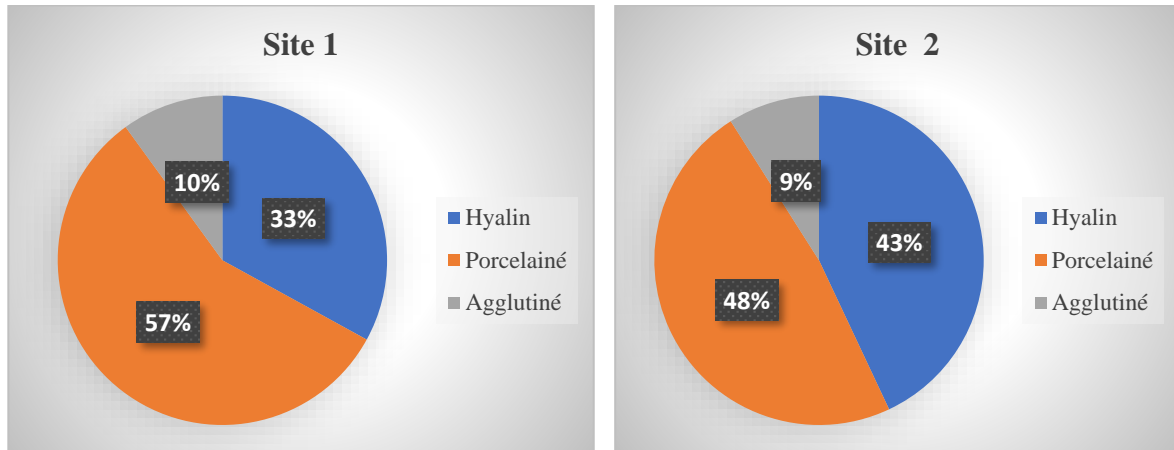


Figure III.14. Proportion des types de test au niveau des deux sites

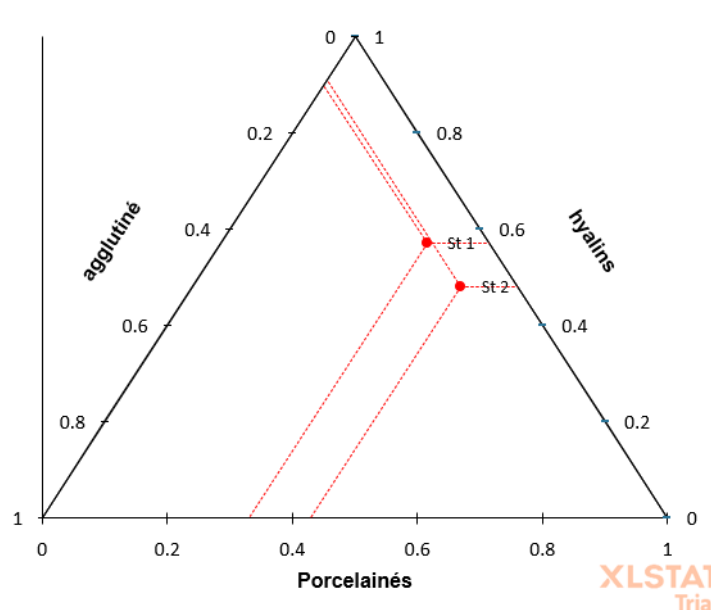


Figure III.15. Diagramme ternaire de la proportion des types de test de foraminifère

La figure III.15 montre la proximité des caractères de foraminifères au niveau des deux sites. Ceci pourrait être expliqué d'une part, par la nature du sédiment qui est coquillier et d'autre part, par la profondeur identique.

Les espèces dominantes au niveau du site 1 sont :

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les espèces à test hyalin : *Ammonia sp.*, *Elphidium sp.*, *Rosalina sp.*

Les espèces à test porcelain: *Quinqueloculina seminulum*, *Adelosina mediterraneensis*

Les espèces à test agglutiné : *Quinqueloculina agglutinans*, *Textularia sp.*

La dominance des tests porcelainés (56,6%) suggère un environnement stable, bien oxygéné, et riche en carbonate de calcium, typique des herbiers à posidonie (Langer et al., 2013). Les tests hyalins (33,3%) sont associés à des eaux claires et peu profondes (Murray, 2006), confirmant les conditions du site. Enfin, les tests agglutinants (10%), moins abondants, indiquent des apports sédimentaires terrigènes limités (Debenay et al., 2001).

Une étude en Méditerranée réalisée par Frontalini et al. (2014), a souligné une proportion similaire à la présente étude, de tests porcelainés ( $\approx 60\%$ ) dans les herbiers à posidonie.

La faible présence des tests agglutinés est cohérente avec les travaux de Schmiedl et al. (2000) qui relie leur présence à des milieux ouverts peu influencés par les apports continentaux.

Les espèces dominantes au niveau du site 2 sont :

Les espèces à test hyalin : *Ammonia beccarii*, *Elphidium crispum*

Les espèces à test porcelain: *Quinqueloculina stelligera*, *Lachlanella undulata*

Les espèces à test agglutiné : *Trochammina sp.*

La proportion élevée de tests hyalins (42,8%) reflète un milieu moins stable que la posidonie, possiblement influencé par des variations de salinité ou de turbidité (Jorissen, 1987).

Les tests porcelainés (47,6%) restent dominants mais moins que dans la posidonie, suggérant des conditions légèrement plus stressantes (e.g., lumière réduite).

Debenay et al. (2001) ont noté une augmentation des hyalins dans les milieux confinés, en accord avec nos observations.

La présence d'un pourcentage plus élevé des espèces à test hyalin sous grotte, indiquent que ce site est sous mise à des conditions variables (e.g., lumière, salinité). Au contraire, le pourcentage des foraminifères à test porcelainé est plus important au niveau du site à posidonie, ce qui reflète un habitat plus stable et riche en carbonates. Ribes et Garcia (1991) indique aussi que les espèces de foraminifères au niveau de la posidonie ont un test plus épais et résistant au mouvement de l'eau. La proportion très faible des tests agglutinés montre que les apports terrigènes sont limités dans les deux sites.

### III.2.4. Indice d'océanité

Cet indice permet de distinguer l'environnement marin franc, des environnements sous influence continentale (estuaires, lagunes, lagons, etc.).

Seulement cinq individus pélagiques sont identifiés contre 240 individus benthique. Cet indice donne un résultat de **0,02**, une valeur très faible, ce qui traduit une dominance des espèces

## **CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

benthiques. Ce résultat suggère un environnement côtier peu influencé par les conditions océaniques ouvertes.

Cette dominance des foraminifères benthiques est typique des zones côtières peu profondes, où les conditions environnementales (comme la lumière, la température, et la disponibilité des nutriments) favorisent les espèces benthiques. Des résultats similaires ont été observés par Murray (2006) dans les environnements littoraux méditerranéens, où les foraminifères planctoniques sont rares en raison de la proximité des côtes et des apports terrigènes. Bellier et al (2010), observent aussi que la productivité optimale des foraminifères planctoniques se situe dans les eaux marines non côtières où à 100-200m de profondeurs, les foraminifères pélagiques atteindront 50% et 80% au-delà des 200m.

Cette présente étude met en évidence la large prédominance des espèces benthique de l'ordre de 93% (et 7% benthiques)

### **III.2.5. Indices écologiques**

#### **III.2.5.1. Richesse spécifique**

**L'indice de Shannon quantifie la diversité en combinant le nombre d'espèces présentes et leur abondance relative.** Les calculs de cet indice sont montrés dans l'annexe 2.a.

Les résultats relatifs à cet indice sont résumés dans le tableau III.8.

**Tableau III.8.** Indice de Shannon calculé pour les deux sites

	Site 1	Site 2
Indice de Shannon	3,029	2,781

L'indice de Shannon observé au niveau du site 1 ( $H' = 3,029$ ) est conforme aux valeurs typiques des herbiers méditerranéens (Langer et al., 2013 ; Frontalini et al., 2014). Aussi, cet indice calculé à le site 2 ( $H' = 2,781$ ) est comparable aux grottes étudiées par Jorissen. (1987), où la faible pénétration lumineuse et la stabilité environnementale limitent la diversité mais favorisent des espèces adaptées.

Afin de comparer les présents résultats avec ceux des autres auteurs, le tableau III.9 est dressé.

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

**Tableau III.9.** Indices de Shannon observé dans d'autres régions méditerranéennes

Étude	Localisation	Habitat	Indice de Shannon (H')
Jorissen (1987)	Sud de la France et Espagne	Grottes sous-marines	~2,6
Ribes et Garcia (1991)	Méditerranée nord occidentale	Posidonie	De 3,99 à 4,48
Langer et al. (2013)	Côtes Est africaines	Herbiers / Sable	3,1 / 2,5
Frontalini et al. (2014)	Mer Adriatique	Zones côtières protégées	De 2,8 à 3,2
Parent (2019)	Méditerranée française	13m / 20m	1,89/ 2,57
Présente étude (2025)	Tipaza, Algérie	Posidonie / Grotte	3,029 / 2,781

Le site 1 montre une diversité plus élevée, probablement due à la complexité de l'habitat. Dans cet environnement, Langer et al. (2013) notent que les herbiers favorisent une plus grande diversité de foraminifères avec une valeur de l'indice de Shannon de 3.1, un résultat très proche à cette présente étude. En effet, Frontalini et al. (2014) observent aussi que les habitats stables comme les herbiers ont des H' élevés.

L'indice de diversité trouvé en site 2 était plus faible, ceci est conforté par l'observation de Jorissen (1987), qui soulèvent que les grottes ont une diversité modérée mais des espèces spécialisées

### III.2.5.2. Indice d'équitabilité

Cet indice mesure l'équilibre dans la répartition des effectifs entre espèces. Une valeur élevée ( $\approx 1$ ) indique une distribution équilibrée, tandis qu'une valeur basse révèle une dominance.

. Les calculs de cet indice sont sur l'annexe 2.b

Les résultats relatifs à cet indice sont résumés dans le tableau III.10

## CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

**Tableau III.10.** Indice d'équitabilité calculé pour les deux sites

	Site 1	Site 2
Indice d'équitabilité	0,891	0,913

Le site 2 (sous grotte) a un indice d'équitabilité de 0,913. Ceci montre une répartition très équilibrée, similaire aux habitats stables comme les fonds rocheux (Schönfeld et al., 2012). En effet, ces auteurs soulignent une répartition équilibrée dans les grottes car ces derniers limitent les perturbations.

Au site 1, l'indice de Pielou de 0,891, se caractérisant par une légère dominance d'espèces compétitives (ex. : *Ammonia beccarii*), ce qui est typique des herbiers où quelques taxons dominent (Debenay et al., 2001).

Afin de comparer les présents résultats avec ceux des autres auteurs, le tableau III.11 est dressé.

**Tableau III.11.** Indices d'équitabilité observé dans d'autres régions méditerranéennes

Étude	Habitat/ Lieu	Équitabilité (J')
Debenay et al. (2001)	Lagunes méditerranéennes Bretagne française	0,75 – 0,90
Schönfeld et al. (2012)	Fonds meubles / Rochers Golfe de Cadiz	0,85 – 0,92
Parent (2019)	Méditerranée française 13m/20m	0,7 / 0,68
Présente étude (2025 )	Posidonie / Grotte	0,891 / 0,913

Les deux sites présentent des valeurs d'équitabilité élevées, proches de 1, ce qui indique une répartition relativement équilibrée des individus entre les espèces.

Ces résultats pourraient refléter des conditions environnementales plus homogènes sous la grotte, limitant la dominance de certaines espèces. En comparaison, Frontalini et al. (2014) ont observé des équitabilités similaires dans des environnements côtiers stables, où les perturbations physiques sont minimales.

## **CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

Les deux sites représentent un milieu équilibré et non pollués en prenant en considération les notes de Debenay et al. (2001) qui soulèvent que les perturbations réduisent l'équitabilité (ex. : pollution).

### **III.2.6. Indices biotiques**

#### **III.2.6.1. Indice de stress Foram**

Un classement, basé sur une recherche bibliographique, est réalisé selon la tolérance des espèces au stress (ce tableau est placé en annexe 3). Les espèces intermédiaire (entre tolérantes et non), ne sont pas pris en considération (Parent, 2019), il ne s'agit que de 3 espèces identifiées sous la grotte.

Les valeurs obtenues de FSI sont rapportées dans le tableau III.12

**Tableau III.12.** Indice de stress Foram au niveau des deux sites

	Site 1	Site 2
FSI	7,9	7,5
Qualité du milieu	Bonne	Bonne

Selon le tableau de Dimiza et al. (2016), cette valeur au niveau des deux sites se situe dans la plage "**Bonne qualité du milieu**" ( $9 \geq x > 5,5$ ).

Le résultat de cet indice indique un environnement côtier en **bon état écologique**, mais soumis à des pressions modérées (ex. apports terrigènes, activités humaines locales) (Dimiza et al., 2016).

Dans une étude similaire en Méditerranée, Debenay et al. (2001) ont rapporté des FSI de **6,5 à 8,0** pour des zones côtières peu perturbées, ce qui correspond aux résultats présents. Frontalini et al. (2014), notent également que les herbiers non perturbés montrent un FSI supérieur à 7 qui serait typique à cet environnement.

Cependant, le site 1 (FSI = 7,90) montre une qualité légèrement supérieure à le site sous grotte (FSI = 7,50). Cela pourrait s'expliquer par :

- L'effet stabilisateur de l'herbier de posidonie, qui réduit le stress environnemental (Jorissen, 1987).
- La grotte pourrait être exposée à des micro-habitats plus variables (ex. lumière réduite, hydrodynamisme).

## **CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSIONS**

### **III.2.6.2. Indice Foram-AMBI**

La classification de toutes les espèces identifiées dans les deux sites, selon les groupes écologiques (EGI à EGV) est basée sur les travaux de Jorissen (1987), Debenay et al. (2001), et Murray (2006). Le tableau montrant cette classification est mis en annexes 4.

Les résultats, après calcul, sont résumés dans le tableau III.13

**Tableau III.13** Indice de Foram-AMBI au niveau des deux sites

Indice	Site 1	Site 2
Foram-AMBI	1,15	1,72
Qualité du milieu	Très bonne	Bonne

Le site Posidonie présente une qualité "très bonne", reflétant une dominance des groupes écologiques EGI (espèces sensibles, 33,3%) et EGII (43,3%). Cela suggère un environnement peu perturbé, typique des herbiers de posidonie, qui sont des écosystèmes stables et riches en biodiversité (Jorissen, 1987).

Le site sous grotte, bien que classée "bonne", montre une légère augmentation du Foram-AMBI (1,72), avec une présence notable d'espèces tolérantes (EGV = 14,3%). Cela pourrait indiquer des conditions légèrement plus stressantes, comme une réduction de la lumière ou des apports en matière organique.

Les présents résultats sont conformes à ceux de Murray (2006), qui a montré que les environnements côtiers peu perturbés ont des Foram-AMBI inférieurs à 2. En revanche, des valeurs proches de 1,5-2 sont souvent associées à des zones légèrement influencées par des activités humaines (Debenay et al., 2001).

## **CONCLUSION**

Cette étude pionnière sur les foraminifères benthiques dans la baie de Bou Ismail (Tipaza, Algérie) a permis d'établir une liste faunistique de 42 espèces réparties entre deux habitats distincts : un herbier à *Posidonia oceanica* et une grotte sous-marine. Les résultats révèlent des différences marquées dans la composition et la structure des assemblages, reflétant les conditions environnementales propres à chaque site.

Les présents résultats sont satisfaisants et reflètent la biodiversité des foraminifères, car Philippe-Loeillet (1983) précise que 60% des foraminifères fréquentent les deux premiers centimètres du sédiment. Et d'autre part, Favry et al. (1996) précisent que la répartition des foraminifères n'obéit à aucun gradient horizontal ou transversal, mais en elle serait en relation avec le confinement ou taux de renouvellement des eaux d'origine marine.

L'herbier à posidonie se distingue par une diversité plus élevée ( $H' > 3$ ), confirmant son rôle de "hotspot" de biodiversité (Langer et al., 2013). La dominance des tests porcelainés (56,6%) et la présence d'espèces indicatrices comme *Amphistegina sp.* et *Operculina sp.* suggèrent un environnement stable, bien oxygéné et riche en carbonates. En revanche, la grotte présente une équitabilité plus forte ( $J' > 0,9$ ), reflétant un environnement stable mais moins diversifié (Jorissen, 1987), avec une proportion accrue de tests hyalins (42,8%) et des espèces tolérantes comme *Ammonia beccarii* et *Trochammina sp.*, indicatrices de conditions plus variables.

Les indices biologiques (FSI et Foram-AMBI) classent les deux sites en "bonne" à "très bonne" qualité écologique, bien que la grotte montre une légère influence de stress, probablement due à des facteurs comme la réduction de la lumière ou des apports organiques. Ces résultats s'inscrivent dans les tendances observées en Méditerranée, où les herbiers et les grottes abritent des communautés distinctes mais complémentaires (Frontalini et al., 2014).

Afin de compléter l'étude et avoir une meilleure compréhension des communautés de foraminifères benthiques en Méditerranée et afin d'offrir des bases pour leur utilisation dans la surveillance des écosystèmes côtiers algériens. Des recherches futures pourraient approfondir cette étude en ajoutant :

- Un prélèvement saisonnier, afin d'identifier d'éventuelles changements ;
- Un prélèvement sur différentes profondeurs, afin de confirmer ou infirmer le changement des communautés ;
- Un prélèvement sur d'autres types de substrats ;
- Une séparation entre la fraction vivante et morte

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Albani A (1991).** The distribution and ecological significance of recent foraminifera in the lagoon south Venice (Italy). *Rev. Espan. Micropal.* 23, 2: p.p. 29-45

**Altenbach A.V., Sarnthein M (1989)** . Productivity record in benthic foraminifera In Berger WH, Smetacek VS and Wefer G (Editor), *Productivity in the Oceans Present and Past*. Wiley, Chichester, pp. 255-269

**Armund du Chatelet E., Debenay J.P. et all (2005).** Utilisation des Foraminifères benthiques comme indicateurs de paléo-niveau marin ? étude de cas de l'anse de l'Aiguillon. *Paleontologie systematique*, p.p. 209-223

**Barnet J (2025)** . How tiny Foraminifera can play a massive role in understanding past climates. *Geology*, 41 (2) : p.p. 71-78

**Bellier JP., Mathieu R., et all (2010)** . Court traité de Foraminiférologie (L'essentiel sur les foraminifères actuels et fossiles). *Carnet de Géologie*, livre 2.p. 104

**Bolli H.M., Saunders J.B , et all ( 1985)** . Comparison of zonal schemes for different fossil groups In / Bolli H.M., Saunders, J.B. (eds) *Plankton Stratigraphy*. UK: Cambridge University Press.

**Borja A., Muxika I., et all. (2003).** The application of a Marine Biotic Index to different impact sources affecting soft-bottom benthic communities along European coasts. *Marine Pollution Bulletin*, 46 : p.p.835–845.

**Bourdillon C. (1994).** Les Foraminifères benthiques comme indicateurs de pollution en milieu littoral. Projet P03 : processus de transfert en milieu littoral. Rapport BRGM R38126, p. 63

**Braik D. (1989).** Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou-Ismaïl. *Sédimentologie, morphologie, problèmes d'érosion et aménagement*. Thèse de Magister. Alger :USTHB , p.174

**Brinkmann J., Barras C., et all. (2022).** Drought recorded by Ba/ca in coastal benthic foraminifera

**Buzas M.A., Collins L.Srt all .( 1989).** Experiments on predation, substrate preference and colonisation ob benthic foraminifera at the shelf break off the Ft Pierce Inlet, Florida. *Journal of Foraminifera Research*, 19 (2): p.p.146-152

**Camacho SG., de Jesus Moura DM.,et all .( 2015).** Taxonomy, ecology and biogeographical trends of dominant benthic foraminifera species from an Atlantic-Mediterranean estuary (the Guadiana, southeast Portugal). *Palaeontologia Electronica* 18.1.17A: p.p. 1-27.

**Cappelli E.L.G., Clarke J.L., et all . (2019).** Organic-carbon-rich sediment: benthic foraminifera as bio indicators of depositional environments. *Biogeosciences*, 16:p p. 4183-4199

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Caulet, J. (1972).** Les sédiments organogènes du pré-continent algérien. *Thèse de Doctorat d'état Université de Paris, Mémoire Muséum National d'Histoire Naturelle*, n11 e série, *Sciences de la Terre*, XXV, Paris, p.289.

**Corliss B.H. et Rathbern A.E.(2025).** Pore characteristic of deep-water benthic foraminifera. *Diversity*, 17, p.343

**Debenay J.P. (1990).** Recent Foraminiferal assemblages and their distribution relative to environmental stress in the paralic environments of west Africa (Cap Timiris to Ebrie Lagoon). *Journal of Foraminiferal Research*, 20 (3): p.p. 267-282

**Debenay JP., Tsakiridis E., Soulard R., Grosse H.(2001).** Factors determining the distribution of Foraminiferal assemblages in Port Joinville Harbor (Ile d'Yeu, France): the influence of Pollution. *Marine micropaleontology*, 43 (1-2): p.p. 75-118

**Dimiza M. D., Triantaphyllou M. V., et all . (2016).** The Foram Stress Index: A new tool for environmental assessment of soft-bottom environments using benthic foraminifera. A case study from the Saronikos Gulf, Greece, Eastern Mediterranean. *Ecological Indicators*, 60: p.p. 611–621.

**Domzig A. (2006).** Déformation active et récente, et structuration tectono-sédimentaire de la marge sous-marine algérienne. *Thèse de Doctorat, Université Bretagne Occidentale, spécialité Géosciences marines*, p.233

**Dubcka Z., Tyszka J., et al (2024).** Biocalcification in Porcelaneous foraminifera. *Elife* 13, RP91568

**Favry A., Guelorget O., et al .( 1996).** Répartition et organisation des Foraminifères actuels dans le golfe de Kalloni (Grèce). *Oceanologica Acta*, 20 (2) :p.p. 387-397

**Fontanier C.(2003).** Ecologie des Foraminifères benthiques du Golfe de Gascogne : Etude de la variabilité spatiale et temporelle des faunes de Foraminifères benthiques et de la composition isotopique ( $\delta^{18}$ ,  $\delta^{13}$ c) de leurs tests. *Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 1*

**François D. Reichart G.J., Nooijer L.J. (2025) .** Open or closed : pH modulation and calcification by foraminifera. *Sciences Adviction*, 11, eadq8425

**Frontalini F., Nardelli M. P., et al. ( 2018).** Benthic foraminiferal ultrastructural alteration induced by heavy metals. *Marine Micropaleontology*, 138:p.p. 83–89.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Frontalini F., Semprucci F., Coccioni R., Balsamo M., Bittoni P.( 2014).** *Benthic foraminifera as bioindicators of trace element pollution in the heavily contaminated Santa Gilla lagoon (Italy, SW Mediterranean).* Marine Pollution Bulletin, 84(1-2), P.P.185–199
- Gibson T.G.( 1989).** Planktonic benthonic foraminiferal ratios: modern patterns and Tertiary applicability.- *Marine Micropaleontology*, Amsterdam, vol. 15, n° 1-2, p.p. 29-52.
- Gooday A.J. (1993).** Deep-sea benthic foraminiferal species which exploit phytodetritus characteristic features and controls on distribution. *Marine Micropaleontology*, 22: p.p. 187-205
- Jorissen, F. J.( 1987).** "The distribution of benthic foraminifera in the Adriatic Sea." *Marine Micropaleontology*, 12(1), p.p.21-48.
- Jorissen F. J., de Stigter H. C., Widmark J. G. V.( 1992).** A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Marine Micropaleontology*, 26(1–4), 3–15.
- Jorissen F. J., Fontanier C., Thomas E. (2007).** Paleooceanographical proxies based on deep-sea benthic foraminiferal assemblage characteristics. In C. Hillaire-Marcel & A. de Vernal (Eds.), *Proxies in Late Cenozoic Paleooceanography: Vol.1* (pp.277–328).Elsevier.
- Jorissen F., Pia Nardelli M., Almogi-Labin A., Barras C., Bergamin L., et al.(2018).** Developing Foram-AMBI for biomonitoring in the Mediterranean: Species assignments to ecological categories. *Marine Micropaleontology*, 140, p.p.33-45
- Jorissen F.J., Fouet M.P.A., Singer D., Howa H.( 2022).** The Marine Influence Index (MII): A Tool to Assess Estuarine Intertidal Mudflat Environments for the Purpose of Foraminiferal Biomonitoring. *Water*, 14, p. 676
- Kacimi A. (2016).** Ecologie croissance et exploitation de la squille *Squilla mantis* dans la région algéroise. Mémoire d'ingénieur d'état, Ismal,
- Kennouche H. (2003).** Facteurs influençant le débarquement de la crevette rouge *Aristeus antennatus* dans la région algéroise. Etude du Régime alimentaire et de l'exploitation. Mémoire d'ingénieur d'état, ISMAL, p.78
- Kennouche H. (2009).** Ecologie, biologie et exploitation de la crevette rouge *Aristeus antennatus* dans la région algéroise. Thèse de Magister, USTHB, p.109
- Langer M. R.(2008).** Assessing the contribution of foraminiferan protists to global ocean carbonate production. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 55(3), p.p.163–169.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- Langer M. R., Weinmann A. E., Lötters S., Bernhard J. M. (2013).** *Climate-driven range extension of *Amphistegina* (protista, foraminiferida): Models of current and predicted future ranges.* Journal of Foraminiferal Research, 43(3), p.p.201–215.
- Le Calvez Y. (1958).** Les foraminifères de la mer Celtique. Rev. Trav. Inst. Pêche Marit. 22 (2)
- Le Claire L. (1972).** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares. *Thèse de Doctorat d'état, Faculté des Sciences de Paris. Mémoire Muséum National d'Histoire Naturelle, nouvelle série, série C, Sciences de la Terre, XXIV, Paris, p.382 .*
- Lee J.J. (1980).** Nutrition and physiology of the foraminifera in Levandowsky M et Hutner S.H. eds. Biochemistry and physiology of Protozoa, Second Edition, 3: P.P .43-66
- Levy A. 1970.** Contribution à l'étude des milieux margino-littoraux. Thèse d'état Université de Paris, 396p
- Lipps J.H. (1983).** Biotic interactions in benthic foraminifera. In Travesz MIS, McCall PL (eds) Biotic Interactions in Recent and fossil benthic communities, Plenum Press, New York, pp. 331-76
- Loeblich A.R. et Tappan H.( 1987).** Foraminiferal genera and their classification: Van Nostrand Reinhold Company, New York, 2 vols, pp. 1-978, pls. 1-847
- Lohmann G.P.( 1995).** A model for variation in the chemistry of planktonic foraminifera due to secondary calcification and selective dissolution. Paleooceanography and Paleoclimatology, 10 (3):P.P. 445-457
- Moodley L., Vender Zwaan G.J., Herman P.M.J., Kempers L., Van Breugel P. (1997).** Differential response of benthic meiofauna to anoxia with special reference to Foraminifera (Protistes: Sarcodina). Marine Ecology Progress Series, 158:P.P.153-163
- Moulfi-El Houari L. (2008).** Etude des foraminifères benthiques de la marge continentale de Méditerranée occidentale. Thèse de Doctorat d'état, université Houari Boumédiène, Alger. 180p
- Moulfi A., Pauc H., Moulfi L. (2012).** Les sédiments récents de la baie de Bou Ismail (ouest Algérois). Nature, Origine et mécanismes de mise en place. Bulletin du Service Géologique Nationale 33 (1) :P.P. 29-49

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Moulfi A. (1995).** Les mécanismes de la sédimentation récente et les propriétés géotechniques des dépôts récents de la partie occidentale de la Baie de Bou-Ismaïl. *Thèse Magister, Université Houari Boumediène, Alger, p. 188 .*

**Moulfi-El Houari, L., Ambroise, D. Mathieu, R. (1999).** Distribution des foraminifères actuels sur la marge continentale algéroise (Baie de Bou-Ismaïl). *Revue de Micropaléontologie*, volume 42, pp. 315-327.

**Moullade M., Tronchetti G., Kuhnt W., Masse JP. (1998).** Les Foraminifères benthiques et planctoniques du stratotype historique de l'Aptien inférieur dans la région de Cassis-La Bédoule (SE France). In: *Géologie Méditerranéenne*. Tome 25, numéro 3-4. Le stratotype historique de l'aptien inférieur (bédoulien) dans la région de Cassis-La Bédoule (S.E. France) pp. 187-225

**Murray J.W. (1991).** Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera, Longman Group Harlow, Essex, P.397.

**Murray J.W. (1970).** The Foraminifera of the hypersaline Abu Dhabi Lagoon, Persian Gulf Lethaia, an international journal of Palaeontology and stratigraphy

**Murray, J. W. (2006).** Ecology and Applications of Benthic Foraminifera. Cambridge University Press.

**Ni S., Miter D., Charrieau L.M., Pirzamanain B., Choquel C., Knudsen K.L., Seidenkartz M.S., Filipsson H.L. (2025).** Morphological insights from benthic foraminifera for environmental conditions in the Baltic Sea during the last interglacial. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 40, e2024 PA005063

**Parent B. (2019).** Développement d'un indice basé sur les foraminifères benthiques; application sur la façade méditerranéenne française. Thèse de Doctorat. ANGER. P.316.

**Pawlowski J. (2000).** Introduction to the molecular systematics of foraminifera. *Micropaleontology* 46 (Suppl.1):p.p. 1-12

**Philippe-Loeillet S. (1983).** Contribution à l'étude des foraminifères benthiques de zones soumises à la pollution urbaines (émissaires des villes de Marseille et Toulon-Ouest, rade-abri de Toulon. Thèse Doctorat 3ème cycle en Oceanographie, université Aix-Marseille II, p.165.

**Pielou E. C. (1966).** *The measurement of diversity in different types of biological collections.* *Journal of Theoretical Biology*, 13(1), p.p.131–144.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Ramade F. (2009).** Elements d'écologie : Ecologie fondamentale. 4<sup>ème</sup> édition. Dunod. P.704.

**Raymond C.E., Romo C., Posiunait G., Byrne A., Webster J.M. (2025).** Impact of wave exposure on bleaching of large benthic foraminifera. Coral reef

**Ribes T., Garcia M.P. (1991).** Foraminifères des herbiers de posidonies de la Méditerranée occidentale. Vie et milieu 41 (2/3) :p.p .117-126

**Roux R.M. (1964).** Les sédiments de l'étang de BERRE. Recueil des Travaux de la station maritime d'Endoume, 35,p.p. 275-285

**Saraswati P. K. (2021).** Biology and calcification. In P. K. Saraswati (Ed.), Foraminiferal Micropaleontology for Understanding Earth's History (pp. 25-57). Elsevier.

**Saraswat R. (2023).** Reference Module in Earth systems and environment sciences. Benthic Foraminifera

**Sartorio D., Venturini S. (1988).** Southern Tethys biofacies. Agip S.A.P. 235

**Schmiedl G. (2019).** Use of Foraminifera in climate science. Oxford Research Encyclopedia, Climat change, University Press, USA

**Schmiedl G., De Bovée F., Buscail R., Charrière B., Hemleben C., Medernach L., Picon P. (2000).** *Trophic control of benthic foraminiferal abundance and microhabitat in the bathyal Gulf of Lions, western Mediterranean Sea. Marine Micropaleontology, 40(3),p.p. 167–188.*

**Schönfeld J., Alve E., Geslin E., Jorissen F., Korsun S., and Spezzaferri S. (2012).** The FOBIMO (FORaminiferal BIO-MONitoring) initiative—Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. Marine Micropaleontology, 94–95:p.p. 1–13.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

**Scott D. B., Medioli F. S., Schafer C. T. (2001).** *Monitoring in Coastal Environments Using Foraminifera and Thecamoebian Indicators*. Cambridge University Press.

**Sen Gupta B. K. Aharon P. (1994).** Benthic foraminifera of bathyal hydrocarbon vents of the Gulf of Mexico: Initial report on communities and stable isotopes. *Geo-Marine Letters* 14:p.p. 88-96.

**Shannon C. E. (1948).** *A Mathematical Theory of Communication*. *Bell System Technical Journal*, 27, 379–423, p.p.623–656.

**Venec-Peyre M.T. (1984).** Etude de la distribution des Foraminifères vivants dans la baie de Banyuls-sur-mer. *ECOMED, Pétrole et techniques*, Paris, 301,p.p. 22-43

**Weitkamp T.M. Razmjooei M.J., Pearson P.N., Coxall H.K. (2025).** Upper Oligocene to Pleistocene Planktonic foraminifera stratigraphy at North Atlantic DSDP site 407, Reykjanes Ridge: diversity trends and biozonation using modern Neogene taxonomic concepts. *Journal of micropaleontology*, 44:p.p. 1-78

**Wukowits J., Enge A.J., Wanek W., Watzka M., Heinz P. (2017).** Increased temperature causes different carbon and nitrogen processing patterns in two common intertidal foraminifera (*Ammonia tepida* and *Haynesina germanica*). *Biogeosciences*, 14:p.p.2815-2829

Sites consultés :

**Langlois C.** 2006. Les Foraminifères chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/http://step.ipgp.fr/images/b/b3/Langlois\_biogeopal\_TD5\_FicheForams.pdf (mai 2005)

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

[https://fr.geologyscience.com/branches-de-la-g%C3%A9ologie/pal%C3%A9ontologie/foraminif%C3%A8res/#Morphology\\_and\\_Anatomy](https://fr.geologyscience.com/branches-de-la-g%C3%A9ologie/pal%C3%A9ontologie/foraminif%C3%A8res/#Morphology_and_Anatomy)  
(17.01.2024)

## ANNEXES

## ANNEXES

### Annexe 1. Classification des types de test.

➤ La posidonie :

<b>Espèce</b>	<b>Type de test</b>
<i>Rosalina sp</i>	Hyalin
<i>Operculina sp</i>	Hyalin
<i>Ammonia sp</i>	Hyalin
<i>Amphistegina sp</i>	Hyalin
<i>Discorbis sp</i>	Hyalin
<i>Cibicides sp</i>	Hyalin
<i>Planorbulinella larvata</i>	Hyalin
<i>Planorbulina mediterraneensis</i>	Hyalin
<i>Quinqueloculina seminulum</i>	Porcelané
<i>Quinqueloculina dunkerquiana</i>	Porcelané
<i>Quinqueloculina stelligena</i>	Porcelané
<i>Quinqueloculina trigomula</i>	Porcelané
<i>Quinqueloculina laevigata</i>	Porcelané
<i>Quinqueloculina agglutinans</i>	Agglutinant
<i>Quinqueloculina bideentata</i>	Porcelané
<i>Triloculina trigonula</i>	Porcelané
<i>Lachlanella undulata</i>	Porcelané
<i>Lachlanella bicornis</i>	Porcelané
<i>Siphonaperta quadrata</i>	Porcelané
<i>Elphidium sp</i>	Hyalin
<i>Textularia sp</i>	Agglutinant
<i>Adelosina mediterraneensis</i>	Porcelané
<i>Adelosina longirostra</i>	Porcelané
<i>Adelosina dubia</i>	Porcelané
<i>Adelosina elegans</i>	Porcelané
<i>Adelosina sp</i>	Porcelané
<i>Sejuncetella sp</i>	Porcelané
<i>Rapmanina charoides</i>	Agglutinant
<i>Cassidulina Sp</i>	Hyalin
<i>Spiroloculina depressa</i>	Porcelané

## ANNEXES

---

➤ Sous grotte :

<b>Espèce</b>	<b>Type de test</b>
<i>Ammonia beccarii</i>	Hyalin
<i>Fissurina marginata</i>	Hyalin
<i>Rosalina bradyi</i>	Hyalin
<i>Adelosina longirostra</i>	Porcelané
<i>Adelosina mediterraneensis</i>	Porcelané
<i>Adelosina sp</i>	Porcelané
<i>Elphidium crispum</i>	Hyalin
<i>Elphidium clavatum</i>	Hyalin
<i>Elphidium hispidulum</i>	Hyalin
<i>Cibicides refulgens</i>	Hyalin
<i>Edentostomina sp</i>	Agglutinant
<i>Reussolina laevis</i>	Hyalin
<i>Planorbulina mediterraneensis</i>	Hyalin
<i>Miliolinella subrotunda</i>	Porcelané
<i>Quinqueloculina stelligera</i>	Porcelané
<i>Quinqueloculina seminula</i>	Porcelané
<i>Siphonaperta quadrata</i>	Porcelané
<i>Triloculina trigonula</i>	Porcelané
<i>Lachlanella undulata</i>	Porcelané
<i>Massilina secans</i>	Porcelané
<i>Trochammina sp</i>	Agglutinant

## ANNEXES

### Annexe 2.a. Calcul de l'indice de Shannon

Espèce	Nombre d'individus		Pi =ni /N		-Pi*Ln Pi	
	Site 1	Site 2	Site 1	Site 2	Site 1	Site 2
<i>Fissurina marginata</i>	0	1	0	0,01315789	0	0,05698333
<i>Rosalina bradyi</i>	0	4	0	0,05263158	0	0,15497047
<i>Rosalina sp</i>	14	0	0,08536585	0	0,21006907	0
<i>Operculina sp</i>	2	0	0,01219512	0	0,05374048	0
<i>Ammonia beccarii</i>	0	12	0	0,15789474	0	0,29144632
<i>Ammonia sp</i>	22	0	0,13414634	0	0,26947639	0
<i>Amphistegina sp</i>	10	0	0,06097561	0	0,17056594	0
<i>Discorbis sp</i>	5	0	0,0304878	0	0,1064155	0
<i>Cibicides refulgens</i>	0	1	0	0,01315789	0	0,05698333
<i>Cibicides sp</i>	8	0	0,04878049	0	0,1473378	0
<i>Planorbulinella larvata</i>	5	0	0,0304878	0	0,1064155	0
<i>Planorbulina mediterraneensis</i>	1	3	0,00609756	0,03947368	0,03109675	0,12758373
<i>Miliolinella subrotunda</i>	0	1	0	0,01315789	0	0,05698333
<i>Quinqueloculina seminulum</i>	10	7	0,06097561	0,09210526	0,17056594	0,21965477
<i>Quinqueloculina dunkerquiana</i>	3	0	0,01829268	0	0,07319367	0
<i>Quinqueloculina stelligena</i>	3	3	0,01829268	0,03947368	0,07319367	0,12758373
<i>Quinqueloculina trigomula</i>	1	0	0,00609756	0	0,03109675	0
<i>Quinqueloculina laevigata</i>	3	0	0,01829268	0	0,07319367	0
<i>Quinqueloculina agglutinans</i>	5	0	0,0304878	0	0,1064155	0
<i>Quinqueloculina bideentata</i>	2	0	0,01219512	0	0,05374048	0
<i>Triloculina trigonula</i>	4	4	0,02439024	0,05263158	0,09057493	0,15497047
<i>Lachlanella undulata</i>	10	8	0,06097561	0,10526316	0,17056594	0,23697808
<i>Lachlanella bicornis</i>	3	0	0,01829268	0	0,07319367	0
<i>Massilina secans</i>	0	3	0	0,03947368	0	0,12758373
<i>Siphonaperta quadrata</i>	1	2	0,00609756	0,02631579	0,03109675	0,09572595

## ANNEXES

<i>Elphidium clavatum</i>	0	4	0	0,05263158	0	0,15497047
<i>Elphidium crispum</i>	0	4	0	0,05263158	0	0,15497047
<i>Elphidium hispidulum</i>	0	6	0	0,07894737	0	0,20044531
<i>Elphidium sp</i>	14	0	0,08536585	0	0,21006907	0
<i>Edentostomina sp</i>	0	2	0	0,02631579	0	0,09572595
<i>Textularia sp</i>	2	0	0,01219512	0	0,05374048	0
<i>Adelosina mediterraneensis</i>	12	1	0,07317073	0,01315789	0,19133852	0,05698333
<i>Adelosina longirostra</i>	1	2	0,00609756	0,02631579	0,03109675	0,09572595
<i>Adelosina dubia</i>	3	0	0,01829268	0	0,07319367	0
<i>Adelosina elegans</i>	4	0	0,02439024	0	0,09057493	0
<i>Adelosina sp</i>	10	6	0,06097561	0,07894737	0,17056594	0,20044531
<i>Sejuncetella sp</i>	1	0	0,00609756	0	0,03109675	0
<i>Rapmanina charoides</i>	1	0	0,00609756	0	0,03109675	0
<i>Cassidulina Sp</i>	1	0	0,00609756	0	0,03109675	0
<i>Spiroloculina depressa</i>	3	0	0,01829268	0	0,07319367	0
<i>Reusoolina laevis</i>	0	1	0	0,01315789	0	0,05698333
<i>Trochammina sp</i>	0	1	0	0,01315789	0	0,05698333
Total	164	76				
Indice de shannon de posidonie	3,02901165					
Indice de shannon de Grotte	2,78068071					

## ANNEXES

### Annexe 2.b. Calcul de l'indice de Pielou

	Nombre d'espèces	H'max= ln S	Indice de shannon H'	Indice de équitabilité J'
Station la posidonie	30	3,4011973817	3,02901165	0,8905721457
Station sous _grotte	21	3,0445224377	2,78068071	0,9133388789

### Annexe 3. Classification des espèces tolérantes et sensibles au stress

➤ Site posidonie ;

<b><i>Tolérantes au -stress</i></b>	<b><i>Sensibles au -stress</i></b>
<i>Ammonia sp</i>	<i>Amphistegina sp</i>
<i>Quinqueloculina agglutinans</i>	<i>Discorbis sp</i>
<i>Siphonaperta quadrata</i>	<i>Cibicides sp</i>
<i>Elphidium sp</i>	<i>Planorbulinella larvata</i>
<i>Textularia sp</i>	<i>Planorbulina mediterraneensis</i>
<i>Sejuncetella sp</i>	<i>Quinqueloculina seminulum</i>
<b><i>Cassidulina Sp</i></b>	<i>Quinqueloculina dunkerquiana</i>
	<i>Quinqueloculina stelligera</i>
	<i>Quinqueloculina trigomula</i>
	<i>Quinqueloculina laevigata</i>
	<i>Quinqueloculina bideentata</i>
	<i>Triloculina trigonula</i>
	<i>Lachlanella undulata</i>
	<i>Lachlanella bicornis</i>
	<i>Adelosina mediterraneensis</i>
	<i>Adelosina longirostra</i>
	<i>Adelosina dubia</i>
	<i>Adelosina elegans</i>
	<i>Adelosina sp</i>
	<i>Rapmanina charoides</i>

## ANNEXES

	<i>Spiroloculina depressa</i> <i>Rosalina sp</i> <i>Operculina sp</i>
--	---

➤ Site sous-grotte ;

<b>Tolérante au -stress</b>	<b>Sensible au -stress</b>	<b>Espèce intermédiaires</b>
<i>Ammonia beccarii</i>	<i>Rosalina bradyi</i>	<i>Elphidium hispidulum</i>
<i>Fissurina marginata</i>	<i>Adelosina longirostra</i>	<i>Elphidium clavatum</i>
<i>Edentostomina sp</i>	<i>Adelosina mediterraneensis</i>	<i>Reussolina laevis</i>
<i>Siphonaperta quadrata</i>	<i>Adelosina sp</i>	
<i>Trochammina sp</i>	<i>Elphidium crispum</i>	
	<i>Planorbulina mediterraneensis</i>	
	<i>Miliolinella subrotunda</i>	
	<i>Quinqueloculina stelligera</i>	
	<i>Quinqueloculina seminula</i>	
	<i>Cibicides refulgens</i>	
	<i>Triloculina trigonula</i>	
	<i>Lachlanella undulata</i>	
	<i>Massilina secans</i>	

## ANNEXES

### Annexe 4. Classification des espèces selon leur groupe écologique

➤ Site la posidonie :

<b>Espèce</b>	<b>Groupes écologiques</b>
<i>Rosalina sp</i>	EGI
<i>Operculina sp</i>	EGI
<i>Ammonia sp</i>	EGV
<i>Amphistegina sp</i>	EGI
<i>Discorbis sp</i>	EGI
<i>Cibicides sp</i>	EGII
<i>Planorbulinella larvata</i>	EGI
<i>Planorbulina mediterraneensis</i>	EGI
<i>Quinqueloculina seminulum</i>	EGII
<i>Quinqueloculina dunkerquiana</i>	EGII
<i>Quinqueloculina stelligera</i>	EGII
<i>Quinqueloculina trigomula</i>	EGII
<i>Quinqueloculina laevigata</i>	EGII
<i>Quinqueloculina agglutinans</i>	EGIII
<i>Quinqueloculina bideentata</i>	EGII
<i>Triloculina trigonula</i>	EGII
<i>Lachlanella undulata</i>	EGII
<i>Lachlanella bicornis</i>	EGII
<i>Siphonaperta quadrata</i>	EGIII
<i>Elphidium sp</i>	EGIII
<i>Textularia sp</i>	EGIV
<i>Adelosina mediterraneensis</i>	EGII
<i>Adelosina longirostra</i>	EGI
<i>Adelosina dubia</i>	EGI
<i>Adelosina elegans</i>	EGI
<i>Adelosina sp</i>	EGI
<i>Sejuncetella sp</i>	EGIV
<i>Rapmanina charoides</i>	EGII
<i>Cassidulina Sp</i>	EGIII
<i>Spiroloculina depressa</i>	EGII

EGI= 33,3%=0,333

EGII=43,3%=0,433

EGIII=13,3%=0,133

EGIV=6,7%=0,067

EGV=3,3%=0,033

## ANNEXES

➤ Sous grotte :

Espèce	Groupe écologiques
<i>Ammonia beccarii</i>	EGII
<i>Fissurina marginata</i>	EGV
<i>Rosalina bradyi</i>	EGI
<i>Adelosina longirostra</i>	EGI
<i>Adelosina mediterraneensis</i>	EGI
<i>Adelosina sp</i>	EGI
<i>Elphidium crispum</i>	EGI
<i>Elphidium clavatum</i>	EGIII
<i>Elphidium hispidulum</i>	EGIII
<i>Cibicides refulgens</i>	EGI
<i>Edentostomina sp</i>	EGV
<i>Reusoolina laevis</i>	EGIII
<i>Planorbulina mediterraneensis</i>	EGI
<i>Miliolinella subrotunda</i>	EGI
<i>Quinqueloculina stelligera</i>	EGII
<i>Quinqueloculina seminula</i>	EGII
<i>Siphonaperta quadrata</i>	EGIII
<i>Triloculina trigonula</i>	EGII
<i>Lachlanella undulata</i>	EGI
<i>Massilina secans</i>	EGI
<i>Trochammina sp</i>	EGV

EGI= 47,6%=0,476

EGII=19,05%=0,1905

EGIII=19,05%=0,1905

EGIV=0%

EGV=14,3%=0,143

Annexe 4. Attestation de participation

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
المدسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل  
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



*Attestation de participation*

Cette attestation est dévriée à

Mme HAROUZ Chafika

A participé à la conférence intitulée « Interactions anthropiques avec la mer et le littoral : Perspectives scientifiques et stratégiques « CIAMEL 2025 » qui a eu lieu à L'ENSSMAL le 28 mai 2025 par une communication écrite intitulée :

« Biodiversité des Foraminifères benthique de la région de Tipaza »,

Co-auteurs: KENNOUCHE Hanane

Alger, le 28 mai 2025



المندوبة  
الأستاذة: كنعوجة حانة  
Directrice de l'ENSSMAL

ANNEXE 5. Poster sur la biodiversité des foraminifères benthique dans la région de Tipaza

**BIODIVERSITÉ DES FORAMINIFÈRES BENTHIQUE DE LA RÉGION DE TIPAZA**



**HAROUZ CHAFIKA ET KENNOUCHE HANANE**

École nationale des sciences de la mer et de la gestion du littoral (ENSSMAL), Campus universitaire Dely Ibrahim, Bois des Cars, 16320, Alger, Algérie.

**RÉSUMÉ**

La biodiversité de la microfaune de Foraminifères benthiques n'a jamais fait objet d'étude en Algérie. Cette première tentative, met en lumière l'aspect qualitatif et quantitatif de ce groupe d'espèce à partir d'échantillons prélevés sur un fond sableux de 17 m au large du port de Tipaza au mois de janvier. Les résultats préliminaires mettent en évidence quelques genres tels que : *Ammonia*, *Quinqueloculina*, *Elphidium* et *Textularia*

**INTRODUCTION**

Les Foraminifères benthiques, microorganismes marins à coquille calcifiée, constituent des vrais indices de changement climatique d'une part et d'autre part, d'indicateur de pollution. Leur cycle de vie bref et la simplicité de leur échantillonnage rendent leur étude aisément accessible. Pourtant, en Algérie, ces organismes n'ont jusqu'à présent jamais fait l'objet d'études scientifiques, laissant un vide critique dans la compréhension de la biodiversité microscopique d'un littoral méditerranéen. La recherche la plus récente sur la biodiversité des foraminifères en Méditerranée provient du projet Forcis, coordonné par le Centre européen de recherche et d'enseignement de géosciences de l'environnement (CEREGE) et la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB). Cette étude, publiée en 2024 dans la revue Nature, par Chaabane et al. (2024) met en évidence les impacts du changement climatique sur les Foraminifères planctoniques, des micro-organismes essentiels au cycle du carbone océanique. Les recherches mettent en lumière l'importance des Foraminifères en tant qu'indicateurs sensibles des changements environnementaux et soulignent la nécessité de poursuivre les efforts de surveillance et de conservation pour préserver la biodiversité marine en Méditerranée

**MÉTHODOLOGIE**

Sur un fond coquillier, un échantillonnage a été réalisé en saison hivernale, le 25 janvier 2025, à l'ouest des deux îlots (large du port de Tipaza) (Figure 1). Zone d'échantillonnage



FIGURE 1. ZONE D'ÉCHANTILLONNAGE

près d'un champ de Posidonie, sur un fond de 17m. La température au fond était de 20°C et les coordonnées géographiques étaient les suivants : 36°35'48"N et 2°27'07"W. Le sédiment superficiel a été prélevé par scaphandre autonome grâce à un flacon en plastique de 60 cm<sup>3</sup>. Au laboratoire, l'échantillon est séché en étuve puis observé sous une loupe binoculaire en utilisant un grossissement allant de x20 à x40 (Figure 2). L'identification morphologique des Foraminifères benthiques a été réalisée en se basant sur des planches d'identifications de plusieurs auteurs tels que Moullade et al. (1998) ; Debenay et al. (2001) ; Fontanier (2003) ; Camacho et al. (2015).



FIGURE 2. TRAVAIL AU NIVEAU DU LABORATOIRE

**RESULTAT**

L'analyse morphologique des sédiments prélevés a permis d'identifier plusieurs genres de Foraminifères benthiques. Parmi ceux-ci, les genres *Ammonia*, *Elphidium* et *Quinqueloculina* ont été les plus fréquemment observés. Le genre *Ammonia* a montré une nette dominance en termes d'abondance relative, représentant plus de 50% des individus recensés dans l'échantillon et le genre *Textularia*, le moins fréquent. Les genres identifiés sont illustrés dans la figure 3.



Calvez (1958) note que les genre *Elphidium* et *Cibicide* préfèrent les zones littorales des mers chaudes au niveau des eaux superficielles ; que le genre *Quinqueloculina* avait une large distribution géographique ; et qu'en général, il est considéré que les représentants du genre *Textularia* comme des animaux de demi-profondeur plus particulièrement abondants dans les mers chaudes.

**LA DOMINANCE DU GENRE AMMONIA, CONNU POUR SA TOLÉRANCE AUX VARIATIONS ENVIRONNEMENTALES (POLLUTION, TURBIDITÉ, SALINITÉ), PEUT INDiquer UN DÉSÉQUILIBRE ÉCOLOGIQUE MODÉRÉ DANS LA ZONE ÉTUDIÉE.**

**CONCLUSION**

Cette première étude sur les foraminifères benthiques à Tipaza révèle une biodiversité relativement variée. Elle met en évidence le potentiel de ces organismes comme indicateurs écologiques. En effet, ces résultats soulignent l'importance de poursuivre le suivi écologique des communautés benthiques dans cette région, notamment dans les herbiers de posidonie, qui jouent un rôle crucial dans la stabilité des écosystèmes côtiers.

**RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

Calvez Y. 1958. Les Foraminifères de la mer Celtique. Rev. Trav. Inst. Peche marit. 22 (2) Camacho SG., de Jesus Moura DM., Connor S., Scott DB., Boski T. 2015. Taxonomy, ecology and biogeographical trends of dominant benthic foraminifera species from an AtlanticMediterranean estuary (the Guadiana, southeast Portugal). Palaeontologia Electronica 18.1:17A: 1-27.  
 Chaabane S., de Garidel-Thoron T., Meillard J., Sulpis O., Chalk TB., Brummer GJ., Mortyn PG., Giraud X., Howa H., Casajus M., Kuroyanagi A., Beaugrand G., Schiebel R. 2024. Migrating is not enough for modern planktonic Foraminifera a changing ocean. Nature, 636:390-396  
 Debenay JP., Tsakiridis E., Souldard R., Grossel H. 2001. Factors determining the distribution of Foraminiferal assemblages in Port Joinville Harbor (Ile d'Yeu, France): the influence of Pollution. Marine micropaleontology, 43 (1-2): 75-118  
 Fontanier C. 2003. Ecologie des Foraminifères benthiques du Golfe de Gascogne : Etude de la variabilité spatiale et temporelle des faunes de Foraminifères benthiques et de la composition isotopique (d, c) de leurs tests. Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux 1 18 13  
 Moullade M., Tronchetti G., Kuhnt W., Masse JP. 1998. Les Foraminifères benthiques et planctoniques du stratotype historique de l'Aptien inférieur dans la région de Cassis-La Bédoule (SE France). In: Géologie Méditerranéenne. Tome 25, numéro 3-4. Le stratotype historique de l'Aptien inférieur (Bédoulien) dans la région de Cassis-La Bédoule (S.E. France) pp. 187-225;

## RESUMES

### Résumé

Cette étude pionnière en Algérie explore la diversité des foraminifères benthiques dans deux habitats distincts de la baie de Bou-Ismaïl : un herbier à *Posidonia oceanica* et une grotte sous-marine. Les résultats révèlent 42 espèces, avec une dominance de *Quinqueloculina* et *Adelosina* dans l'herbier, et d'*Ammonia beccarii* et *Elphidium crispum* dans la grotte. Les indices écologiques (Shannon, Pielou) et biotique (FSI, Foram-AMBI) indiquent un environnement de "bonne" à "très bonne" qualité, malgré des conditions légèrement plus stressantes sous la grotte. Les tests porcelainés dominent (57 %), reflétant un milieu riche en carbonates, tandis que les tests hyalins (43 %) dans la grotte suggèrent des variations environnementales. Cette étude souligne l'importance des foraminifères comme bioindicateurs et ouvre des perspectives pour la surveillance des écosystèmes côtiers algériens.

**Mots-clés :** Foraminifères benthiques, biodiversité, bioindicateurs, baie de Bou-Ismaïl,

Tipaza, Méditerranée, indices écologiques, indices biotiques

### Abstract

This pioneering study in Algeria investigates the diversity of benthic foraminifera in two distinct habitats of Bou-Ismaïl Bay: a *Posidonia oceanica* seagrass meadow and a submarine cave. A total of 42 species were identified, with *Quinqueloculina* and *Adelosina* dominating the seagrass site, while *Ammonia beccarii* and *Elphidium crispum* were more abundant in the cave. Ecological indices (Shannon, Pielou) and biotic indices (FSI, Foram-AMBI) indicate "good" to "very good" environmental quality, albeit with slightly more stressful conditions in the cave. Porcelaneous tests dominate (57 %), reflecting a carbonate-rich environment, whereas hyaline tests (43 %) in the cave suggest environmental variability. This study highlights the role of foraminifera as bioindicators and provides a foundation for monitoring Algerian coastal ecosystems.

**Keywords:** Benthic foraminifera, biodiversity, bioindicators, Bou-Ismaïl Bay, Tipaza,

Mediterranean, ecological indices. biotic indices

### الملخص:

تعد هذه الدراسة الأولى من نوعها في الجزائر التي تستكشف تنوع الفورامينيفيرا القاعية في موئلين مختلفين بخليج بواسماعيل: حقل أعشاب بوسيدونيا أوسينيكا وكهف تحت مائي. كشفت النتائج عن وجود 42 نوعاً، مع هيمنة أنواع كوينكيلوكولينا وأديلوسينا في حقل الأعشاب، بينما سيطرت أنواع أمونيا بيكاري ولفيديوم كريسيوم في الكهف. أشارت المؤشرات البيئية (شانون، بيلو) والمؤشرات الحيوية (FSI, Foram-AMBI) إلى بيئة ذات جودة تتراوح بين "جيدة" و"جيدة جداً"، رغم وجود ظروف أكثر إجهاداً في الكهف. سيطرت الأصداف الخزفية (57%)، مما يعكس بيئة غنية بالكاربونات، بينما اقترحت الأصداف الزجاجية (43%) في الكهف وجود تغيرات بيئية. تؤكد هذه الدراسة أهمية الفورامينيفيرا كمؤشرات حيوية وتفتح آفاقاً جديدة لرصد النظم البيئية الساحلية الجزائرية.

### الكلمات المفتاحية:

الفورامينيفيرا القاعية، التنوع البيولوجي، المؤشرات الحيوية، خليج بواسماعيل، تيبازة، البحر المتوسط، المؤشرات البيئية.  
المؤشرات الحيوي

