

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
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
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur et de
Master en Sciences de la Mer et du diplôme Start-up**

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Hydrobiologie Marine et Continentale

**Option : Biodiversité et gestion des écosystèmes / Ingénierie de l'environnement
marin et côtier**

Thème :

**Évaluation de la vulnérabilité écologique : focus sur l'île de
Rachgoun**

Réalisée par : AZZOUG Meriem Melissa et GHIAR Abdelmoumen Moncef

Soutenu le 10/06/2025 devant le jury suivant :

M. GRIMES. S	Professeur	ENSSMAL	Promoteur
M. REFES. W	Professeur	ENSSMAL	Président
Mme. KAIDI-BOUDJELLAL. N	Maître de conférences B	ENSSMAL	Examinatrice

REMERCIEMENTS

On tient à exprimer une profonde gratitude à Monsieur Grimes Samir, pour son encadrement rigoureux, ses conseils éclairés et son accompagnement tout au long de ce travail.

Nos remerciements les plus sincères vont également à Moussaoui Yakout Nawel, dont le soutien constant a été précieux durant une grande partie de cette recherche.

On souhaite remercier chaleureusement toute l'équipe du club de plongée d'Aïn Témouchent Paradive pour leur accueil bienveillant et leur disponibilité. Leur accompagnement lors des campagnes d'échantillonnage a grandement facilité notre mission sur le terrain.

On remercie tout particulièrement nos parents, pour leur appui inconditionnel, leurs encouragements et leurs précieux conseils, qui m'ont soutenu tout au long de cette aventure.

Je souhaite enfin adresser mes remerciements les plus sincères à l'ensemble du personnel et aux ingénieurs des laboratoires de l'ENSSMAL, en particulier Mme Refes, Monsieur Mustapha et Monsieur Hassen.

Que chacun trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance. Votre contribution a été essentielle à la réussite de ce mémoire, et nous vous en sommes profondément reconnaissants.

DEDICACES

« Cette année fut excellente : mon promoteur, Monsieur Grimes S., excellent ; le thème du mémoire, excellent ; mon binôme, excellent ; notre binôme, excellent ; mes camarades, excellents. Il ne me reste plus qu'une seule excellence à atteindre... »

Je dédie tout particulièrement ce mémoire :

À **ma chère maman**, dont l'amour inconditionnel, la bienveillance et la force tranquille ont illuminé chaque étape de mon parcours. Ta persévérance, ta douceur et tes innombrables sacrifices ont été les piliers qui m'ont soutenu dans les moments les plus difficiles. Rien de tout cela n'aurait été possible sans toi.

À **mon père**, dont la discrétion cache une force immense. Par son exemple, sa rigueur et sa patience silencieuse, il m'a transmis la valeur du travail bien fait et le courage d'aller jusqu'au bout de mes engagements.

À **mon cousin et ma cousine**, Adel et Farah, pour leurs encouragements simples mais sincères, et leur bienveillance constante.

À **mes amis**, Anis, Yahya, Wassim, Samy, Rayene, Mahdi, Moncef et Walid, qui ont su apporter un équilibre essentiel entre sérieux et légèreté. Merci pour votre amitié précieuse, votre énergie et vos moments de soutien, de rires et de partage.

Ce mémoire est le fruit d'un chemin parcouru ensemble, chacun à sa manière. À vous tous, je dis merci.

Abdelmoumen Moncef

"Le succès n'est pas le fruit du hasard. Il résulte d'un travail acharné, de la persévérance, de l'apprentissage, du sacrifice et, surtout, de l'amour de ce que l'on fait."

– Pelé

À la mémoire de mes chers grands-parents **Louisa AZZOUG, Malek AZZOUG, Saïd TAITOUCHE**, et ma cousine **Sofia AZZOUG** partis un peu trop tôt, mais dont l'amour, la sagesse et les prières continuent de m'accompagner chaque jour. Que ce travail soit un hommage à leur bienveillance et à leur souvenir impérissable.

À **mes grands-mères**, Fazia et Tayakout véritables gardiennes de traditions, d'affection et de foi, pilier de douceur et de force, dont les encouragements silencieux ont toujours résonné en moi.

À **ma très chère mère**, source intarissable d'amour, de patience et de sacrifices. Ton courage et ton abnégation m'inspirent chaque jour.

À **mon père**, pour ton soutien constant, ta confiance inébranlable et tes conseils précieux.

À **ma sœur**, Dahlia pour ta complicité, ton écoute, et ta présence lumineuse à chaque étape de ce parcours.

À **mes frères**, Skander et Adam pour vos encouragements, vos rires et votre solidarité, si essentiels dans les moments les plus exigeants.

À **mes oncles et mes tantes**, Nabil, Samir, El hachemi, Hayat, Salima, Naima, Noelle, Amel, Sabra et Hassiba pour leurs paroles rassurantes, leur générosité et leur affection toujours partagée.

À **mes cousins**, Abdel Malek, Mehdi, Walid, Sofiane, Reda et Rayene, compagnons d'enfance et de cœur, pour les souvenirs partagés et la fraternité indéfectible.

À **mes cousines**, Malak, Amal, Sophia, Kahina, Yasemine et Amel, pour vos mots réconfortants, vos sourires sincères, et votre bienveillance.

À **mes meilleurs amis**, Rayane, Neila, Yani, Watani, Billel, Fadhela et Sonia, qui ont su croire en moi même dans mes silences, et dont la présence m'a été d'un soutien inestimable.

À **mes amis**, Chakib, Nawel, Reda et Ramzy pour leurs encouragements, leur compréhension, et pour avoir apporté tant de chaleur humaine à ce voyage.

Je vous dédie ce travail avec une reconnaissance infinie. Votre amour, vos paroles et votre confiance m'ont accompagné comme une étoile, guidant mes efforts vers l'accomplissement.

Meriem Melissa

LISTE DES TABLES

Table 1 : Description des bassins, mers, archipels et îles de la mer Méditerranée (Moussaoui, 2024) ..	5
Table 2 : Typologies des bases de données (Hainaut, 2009; Prat, 2021)	15
Table 3 : Attributs utilisée dans la structure taxinomique de la base de données	17
Table 4 : Attributs utilisée dans la structure écosystémique de la base de données	19
Table 5 : Attributs utilisée dans la structure anthropique de la base de données	20
Table 6 : Récapitulatif des travaux réalisés autour de la région de Rachgoun.....	32
Table 7 : Coordonnées géographiques des stations de prélèvement	34
Table 9 : Liste des espèces identifiées à la station 8	55
Table 10 : Recherche préalable et méthodologie sur l'évaluation de la vulnérabilité	57
Table 11 : Évaluation de la vulnérabilité	64
Table 12 : Normalisation des attributs de la vulnérabilité	66
Table 13 : Pondération des attributs de vulnérabilité.....	67

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte des divisions de la mer Méditerranée (Moussaoui, 2024)	7
Figure 2 : Diagramme de distribution de la biodiversité recensée à partir de la base de données	22
Figure 3 : Image de la base de données de la structure taxinomique	23
Figure 4 :: Image de la base de données de la structure écosystémique	24
Figure 5 : Carte de répartition des habitats remarquables de la côte ouest algérienne. (Réalisée par Moussaoui. N).....	25
Figure 6 : Carte de la répartition des habitats remarquables (Aïn Témouchent-Oran) (Réalisée par Moussaoui. N).....	25
Figure 7 : Image de la base de données de la structure anthropique.....	26
Figure 8 : Carte de répartition des sites pollués de la côte ouest algérienne. (Réalisée par Moussaoui. N)	27
Figure 9 : Carte de la répartition des sites pollués (Aïn Témouchent -Oran) (Réalisée par Moussaoui. N)	27
Figure 10 : Carte représentant la zone d'étude (Réalisée par Moussaoui. N).....	30
Figure 11 : Carte bathymétrique de l'île de Rachgoun- Ain Témouchent (Moussaoui, 2024).....	31
Figure 12 : carte représentant les sites d'échantillonnages autour de l'île de Rachgoun (Réalisée par Moussaoui. N).....	34
Figure 13 : Échantillonnage des sédiments a la benne Van Veen.....	35
Figure 14 : Mesure des paramètres de bases in situ	36
Figure 15 : Mesure de la matière en suspension	37
Figure 16 : Pesée et calcule de la matière en suspension après 24h	38
Figure 17 : Lyophilisateur utilisé.....	39
Figure 18 : Mesure de la matière organique	40
Figure 19 : Pesée et minéralisation des sédiments.....	41
Figure 20 : Préparation des réactifs pour l'analyse des sels nutritifs	42
Figure 21 : Analyse des sels nutritifs	43
Figure 22 : Tri et identification du macro benthos.....	44
Figure 23 : Image montrant les vents du jour de l'échantillonnage (Meteo consult).....	45
Figure 24 : Image satellitaire montrant l'état meteorologique du 09/04/2025 (Copernicus).....	45
Figure 25 : Zoom de l'image satellitaire (Copernicus)	46
Figure 26 : Variation de la température autour de l'île de Rachgoun	47
Figure 27 : Variation du pH autour de l'île de Rachgoun.....	48
Figure 28 : Variation de la salinité autour de l'île de Rachgoun	48
Figure 29 : Variation de la matière en suspensions autours de l'île de Rachgoun.....	49
Figure 30 : Variation des sels nutritifs autour de l'île de Rachgoun.....	50
Figure 31 : Variation de la matière organique entre l'île de Rachgoun et la côte.....	51
Figure 32 : Variation des Métaux lourds entre l'île de Rachgoun et la côte.....	52
Figure 33 : Richesse spécifique des grands groupes taxonomique	53
Figure 34 : diagramme de répartition des organismes marins par niveau taxonomique de la station 8 54	
Figure 35 : Modèle conceptuel propose pour l'évaluation de la vulnérabilité des milieux insulaires . 62	
Figure 36 : Cartographie de l'indice globale de vulnérabilité du milieu	69

TABLE DE MATIERE

1. GENERALITES	2
1.1. DEFINITIONS :	2
1.1.1. BIODIVERSITE MARINE :	2
1.1.2. CARTOGRAPHIE	2
1.1.3. VULNERABILITE ET SENSIBILITE ECOLOGIQUE	2
1.2. ACTIVITE ANTHROPIQUE :	3
1.3. TYPES DE MILIEU INSULAIRE	3
1.4. MILIEU INSULAIRE EN MEDITERRANEE :	4
1.5. DIFFERENCE ENTRE LA BIODIVERSITE INSULAIRE ET COTIERE	8
1.5.1. RICHESSE SPECIFIQUE (DIVERSITE D'ESPECES)	8
1.5.2. TAUX D'ENDEMISME (ESPECES UNIQUES A UN LIEU)	8
1.5.3. VULNERABILITE ECOLOGIQUE	9
1.6. CONCEPT DE VULNERABILITE COTIERE ET INSULAIRE	9
1.6.1. EXEMPLE DE TRAVAUX FAIT SUR LA VULNERABILITE COTIERE EN ALGERIE	10
2. STRUCTURATION SPATIALE ET GESTION DES BASES DE DONNEES PAR SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE	11
2.1. CADRE CONCEPTUEL DES BASES DE DONNEES	11
2.1.1. DEFINITION ET FONCTION DES BASES DE DONNEES	11
2.1.2. PERTINENCE DES BASES DE DONNEES DANS L'ANALYSE DES MILIEUX INSULAIRES	12
2.2. EXEMPLE DES BASES DE DONNEES RELATIVES A LA BIODIVERSITE MARINE	12
2.2.1. MODELES DES BASES DE DONNEES ECOLOGIQUES	12
2.2.2. MODELES DE BASES DE DONNEES SUR LA VULNERABILITE COTIERE	13
2.2.3. MODELES DE BASES DE DONNEES SUR LA VULNERABILITE DES MILIEUX INSULAIRES	14
2.3. CONCEPTION ARCHITECTURALE DES SYSTEMES DES BASES DE DONNEES	15
2.3.1. TYPOLOGIES DES ARCHITECTURES DES BASES DE DONNEES	15
2.3.2. STRUCTURATION DES BASES DE DONNEES	16
2.3.3. RESULTATS DE LA STRUCTURATION DES BASES DE DONNEES	21
2.4. CONCLUSION DU CHAPITRE 2	28
3. DIAGNOSTIQUE D'UN SITE PILOTE	29
3.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	29
3.1.1. DESCRIPTION DE L'ILE DE RACHGOUN	29
3.1.2. ÉTAT DE L'ART SUR LES TRAVAUX REALISES	32
3.2. ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUES ET IMPACTS POTENTIELS – ÎLE DE RACHGOUN	33
3.2.1. REJETS D'EAUX USEES	33
3.2.2. HYDROGRAPHIE	33
3.2.3. TOURISME ET FREQUENTATION	33
3.2.4. PECHE ARTISANALE	33
3.2.5. PLONGEE SOUS-MARINE	33
3.3. MÉTHODOLOGIE	34

3.3.1.	STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE	34
3.3.2.	BIODIVERSITE ET HABITATS DU SITE	44
3.4.	RESULTATS ET DISCUSSIONS	45
3.4.1.	DIAGNOSTIQUE ENVIRONNEMENTALE	47
3.4.2.	DIAGNOSTIC ECOLOGIQUE, BIODIVERSITE ET INVENTAIRE :	52
4.	ANALYSE DE LA VULNERABILITE DE L'ILE DE RACHGOUN	56
4.1.	QUELQUES EXEMPLES PERTINENTS DE TRAVAUX SUR LA VULNERABILITE DES ZONES MARINES ET COTIERES	56
4.2.	MÉTHODOLOGIE	58
4.2.1.	COLLECTE ET SELECTION DES DONNEES	58
4.3.	ÉLABORATION DU MODELE DE VULNERABILITE	61
4.4.	NORMALISATION DES DONNEES	61
4.5.	PONDERATION DES ATTRIBUTS PAR LA METHODE D'ANALYSE MULTICRITERE (AHP)	63
4.5.1.	INTEGRATION DE L'ÉTAT DE SENSIBILITE ENVIRONNEMENTALE (ESE)	63
4.5.2.	CARTOGRAPHIE DE LA SENSIBILITÉ	64
4.6.	RÉSULTATS DE L'ANALYSE DE VULNÉRABILITÉ	64
4.6.1.	TRAITEMENT ET NORMALISATION DES DONNÉES	64
4.6.2.	PONDERATION DES CRITERES	67
4.6.3.	VULNERABILITE INSULAIRE	68
•	Indice global de vulnérabilité	68
	CONCLUSION GENERALE	70
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	72
	ANNEXE	78

Introduction

Introduction

Dans un contexte de bouleversements environnementaux mondiaux, la préservation des écosystèmes marins et insulaires constitue un défi stratégique majeur pour les sociétés littorales. Les milieux insulaires, en particulier, jouent un rôle clé en tant que réservoirs de biodiversité, refuges d'espèces endémiques et zones tampons face aux pressions climatiques et anthropiques (Médail & Quézel, 1999 ; UNEP-WCMC, 2016). Leur isolement géographique, bien qu'à l'origine de leur richesse écologique unique, les rend particulièrement vulnérables aux perturbations, telles que l'élévation du niveau de la mer, l'artificialisation des côtes ou l'introduction d'espèces invasives (Courchamp et al., 2003 ; Sabinot et al., 2019).

La Méditerranée, mer semi-fermée aux caractéristiques biogéographiques complexes, concentre près de 5 000 îles et îlots, formant un archipel écologique remarquable mais fortement exposé aux pressions humaines (Delanoë et al., 1996 ; Duvat et al., 2017). Parmi ces territoires, l'île de Rachgoun, située au large de la côte ouest algérienne, se distingue par sa richesse biologique marine et terrestre, et constitue un site d'intérêt écologique stratégique (Véla, 2017 ; Grimes et al., 2004). Toutefois, cette île, à l'instar de nombreux microcosmes méditerranéens, subit des pressions multiples issues des activités touristiques, halieutiques et industrielles environnantes (Benallal et al., 2023 ; Bouamar, 2024).

Face à ces enjeux, l'analyse de la vulnérabilité écologique de ces espaces devient essentielle pour orienter les politiques de conservation. Cette vulnérabilité, définie comme la combinaison de la sensibilité d'un écosystème, de son exposition aux perturbations et de sa capacité d'adaptation, constitue aujourd'hui un indicateur clé dans l'élaboration des stratégies de gestion durable (Adger, 2006 ; Turner et al., 2003). Elle requiert des outils d'analyse intégrés et spatialisés, en particulier l'utilisation des Systèmes d'Information Géographique (SIG) et de bases de données écologiques multi-échelles (Picard, 2022 ; IFREMER et al., 2020).

Ce mémoire propose ainsi une évaluation spatiale de la vulnérabilité écologique de l'île de Rachgoun, en combinant observations de terrain, données environnementales, inventaires de biodiversité et modélisations à l'aide de bases de données relationnelles. Il s'appuie notamment sur la conception d'un système de gestion intégrée structuré autour de trois composantes : taxinomique, écosystémique et anthropique. L'objectif est de croiser ces dimensions afin de dresser un diagnostic environnemental complet et de proposer des mesures de conservation fondées sur des données scientifiques robustes.

En adoptant cette approche systémique, ce travail ambitionne de contribuer à une meilleure compréhension des dynamiques écologiques et humaines en milieu insulaire algérien, tout en fournissant un outil opérationnel pour la planification environnementale régionale.

Chapitre 1

Généralités

1. Généralités

1.1. Définitions :

1.1.1. Biodiversité marine :

La biodiversité marine désigne l'ensemble des formes de vie présentes dans les mers et les océans, incluant les espèces animales, végétales et microbiennes, ainsi que les écosystèmes qu'elles forment. Elle est souvent décrite à travers trois niveaux de diversité (CDB ; 2010) :

Diversité génétique : Variation génétique au sein des espèces.

Diversité spécifique : Nombre d'espèces différentes dans un habitat donné.

Diversité écologique : Variété des écosystèmes et des interactions entre les espèces et leur environnement (CDB ; 2010).

1.1.2. Cartographie

La cartographie est le processus de création de cartes, qui sont des représentations visuelles d'un espace géographique. Grâce aux SIG, la cartographie numérique permet une représentation dynamique, interactive et multicouche des données spatiales, facilitant l'analyse, le filtrage et la superposition d'informations (Picard, 2022).

1.1.3. Vulnérabilité et sensibilité écologique

La sensibilité écologique désigne la capacité d'un habitat ou d'une espèce à résister à des perturbations externes, telles que la pollution, le changement climatique ou la surpêche (Pacquet, 2022). Elle est généralement évaluée en fonction de deux critères principaux :

Résistance : La capacité d'un habitat à supporter une pression sans subir de dégradation significative.

Résilience : Le temps nécessaire pour qu'un habitat récupère après une perturbation.

L'évaluation de la sensibilité des habitats benthiques marins, par exemple, est cruciale pour identifier les risques d'impact liés aux activités humaines et pour mettre en place des stratégies de protection adaptées (La Rivière et al., 2015).

La vulnérabilité est un concept plus large qui englobe non seulement la sensibilité mais aussi l'exposition aux pressions environnementales. Elle se définit comme la combinaison de la sensibilité d'un habitat aux perturbations et de son exposition à celles-ci. Les habitats vulnérables sont ceux qui subissent des pressions élevées tout en ayant une faible capacité de résistance ou de résilience (La Rivière et al., 2015).

1.2. Activité anthropique :

Les activités anthropiques désignent l'ensemble des actions humaines affectant les écosystèmes marins, qu'il s'agisse d'impacts directs (pollution, urbanisation, surpêche) ou indirects (changement climatique, bruit sous-marin). Elles modifient profondément la structure et le fonctionnement du milieu marin (Lalongé, 2024). En d'autres termes, il s'agit de toutes les influences humaines sur la nature, par opposition aux phénomènes purement naturels. Dans un contexte environnemental, on parle d'influences anthropiques lorsque les écosystèmes, le climat, les sols, l'eau ou l'air subissent des modifications dues aux activités humaines (Soubelet et al., 2023).

1.3. Types de milieu insulaire

Une île se définit classiquement comme une « terre isolée de tous côtés par les eaux » (Mathelin, 2013). La géographie physique distingue ainsi d'une part les îles continentales, reliées à la croûte continentale voisine (fragments de continents récemment isolés, à la géologie souvent granitique ou sédimentaire) (Biju-Duval, 1999). Et d'autre part les îles océaniques, formées sur la croûte océanique loin des continents, généralement par volcanisme sous-marin ou par construction corallienne (îles madréporiques) (Bernard, 1894). Un îlot désigne une île de très petite taille, qui demeure émergée à marée basse et peut porter de la végétation terrestre, mais qui « ne se prête pas à l'habitation humaine » (Triplet, 2015). Par contraste, un récif corallien n'est pas une terre émergée continue, mais une construction biologique calcaire formée par l'accumulation de squelettes de coraux (et d'algues symbiotiques) dans les eaux chaudes peu profondes (Duvat, 2024) Il affleure la surface de la mer et peut porter localement de petites îles de sable (cayes) issues des débris biologiques. Parmi les récifs, un atoll est un récif corallien annulaire entourant un lagon central, sans masse continentale intérieure, et portant de petits îlots coralliens en surface (motu) (Dénécé, 2000). Le récif-barrière, quant à lui, est un long récif corallien parallèle à la côte d'une grande île ou d'un continent, dont il est séparé par un lagon ou un chenal peu profond (Duvat, 2020).

1.4. Milieu insulaire en Méditerranée :

Les îles méditerranéennes sont des espaces géographiques uniques dont l'évolution est fortement influencée par les variations du niveau marin et les activités humaines. Elles se caractérisent par une interaction complexe entre facteurs naturels et anthropiques, ce qui en fait des laboratoires privilégiés pour l'étude des dynamiques environnementales et culturelles» (Ghilardi et al., 2012).

Les îles méditerranéennes constituent des écosystèmes uniques, caractérisés par une biodiversité exceptionnelle et un fort taux d'endémisme. Elles abritent environ 5 000 îles et îlots, représentant l'un des ensembles insulaires les plus importants au monde (Delanoe et al., 1996). Le taux d'endémisme global des grandes îles méditerranéennes est compris entre 10 % et 16 %, mais il est bien plus élevé sur les massifs montagneux d'altitude supérieure à 1 000 mètres (Médail et Quézel, 1997). Ces milieux insulaires jouent un rôle important en tant que refuges pour de nombreuses espèces animales et végétales, notamment des oiseaux marins sensibles au dérangement, tels que les puffins cendrés et yelkouans. Ces espèces, emblématiques de la Méditerranée, trouvent sur ces îles des sites de nidification sécurisés, pondant un unique œuf par an (Passetti, A. et al., 2012). Cependant, ces écosystèmes sont particulièrement vulnérables aux pressions anthropiques et aux changements climatiques. L'urbanisation croissante, l'artificialisation des sols et l'augmentation des activités touristiques intensifient les risques naturels et menacent l'équilibre écologique de ces territoires. Par ailleurs, la montée des eaux liée au réchauffement climatique accentue la fragilité des zones côtières et insulaires (Duvat, et al., 2017). Face à ces défis, des initiatives de conservation et de gestion durable sont mises en place pour préserver la biodiversité insulaire méditerranéenne. Par exemple, le Collectif des îles de la Méditerranée (CIM) a développé une stratégie visant à reconnecter la nature et les communautés locales, renforçant ainsi la résilience des écosystèmes insulaires (Initiative PIM, 2022).

Les îles méditerranéennes se répartissent principalement entre les deux grands ensembles géographiques que sont le bassin occidental et le bassin oriental, chacun comprenant plusieurs mers aux caractéristiques distinctes (Wimart-Rousseau, 2021). Le tableau ci-dessous représente les îles de la mer Méditerranée dans les deux bassins qui contiennent plusieurs mers : Mer Égée, Mer Ionienne, Mer Adriatique, Mer du Levantin, Mer Tyrrhénienne, Mer Algéro-provençal, Mer d'Alboran (Moussaoui, 2024).

Généralités

Table 1 : Description des bassins, mers, archipels et îles de la mer Méditerranée (Moussaoui, 2024)

Bassin	Description du bassin	Mers du bassin méditerranéen	Description des mers	Archipels et îles
Méditerranée orientale	Le bassin oriental se situe à l'est de la Méditerranée et est subdivisé en différents compartiments contenant le plus grand nombre d'îles au niveau de la mer Méditerranée (Fontenay, 2004)	Mer Égée	La Mer Égée est une mer située entre l'Europe et la Grèce à l'ouest, et l'Asie et la Turquie à l'Est. Elle s'étend de la côte thrace et du détroit des Dardanelles au nord jusqu'à la Crète au sud (Oter et al, 2010)	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Les sporades méridionales « Dodécanèse »</u> : Rhodes, Kos, Pátmos, Kálymnos, Leros, Lipsi. • <u>Les sporades thraces</u> : Ágios Efstrátios, Lemnos, Samothrace, Thasos (Grèce), Imbros, Ténédos (Turquie), ainsi que plusieurs îlots • <u>Les sporades thessaliniennes</u> : comprenant onze îles, dont les principales sont Skiathos, Skópelos, Alonissos et Skyros • <u>Les cyclades</u> : Mykonos, Ios, Santorin, Kythnos, Antimilos, Polyaios, Rinia • <u>Les îles saroniques</u> : Salamine, Égine, Angistri et Poros
		Mer Ionienne	La mer Ionienne marque la frontière entre la côte occidentale du Salento, la Basilicate, la Calabre, et la côte orientale de la Sicile, dans le Sud-Est de l'Italie, d'une part, et le sud de l'Albanie et la côte occidentale de la Grèce à l'Est, d'autre part	<ul style="list-style-type: none"> • Sazan surnommée « Sentinelle de Vlora » (Albanie) • <u>Les îles Diapontiques</u> • <u>Les îles Échinades</u> : les Drakoneres, les Modia et les Ouniades. • <u>Les strophades</u>
		Mer Adriatique	La mer Adriatique, en tant que détroit maritime, sépare la péninsule italienne de la péninsule balkanique	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Les Absyrtides</u> : regroupent les îles Cres et Lošinj • <u>L'archipel de Brioni</u> : Veli Brion, accompagnée de treize îles de moindre taille • <u>Les Îles Élaphtes</u> : îles Šipan, Lopud et Koločep • <u>Les Îles Infernales</u> : composées de vingt-et-un îlots avec Sveti Klement comme île principale • <u>L'archipel des Kornati</u> : totalisant 147 îles et îlots • <u>Les Îles Pélagiques « Palagruža »</u> : composé d'une île principale, Velika Palagruža, et de Mala Palagruža, entourées d'une douzaine d'îlots • <u>L'archipel de Zadar</u> : constitué de sept îles principales : Silba, Rava, Molat, Premuda, Olib, Iž, et Ist
		Mer Levantine	Le bassin du Levantin, également appelé mer Levantine, constitue la partie la plus orientale de la mer Méditerranée	<ul style="list-style-type: none"> • L'État insulaire de Chypre • L'île d'Arouad (Syrie) • Les îles des Palmiers et l'île de Zireh (Liban) • L'île Nelson et l'île Shweila (Égypte)

				<ul style="list-style-type: none"> • Quelques autres îles, dont l'île de Ain Ghzala, l'île de Barda, l'île de El-Wataa, l'île Polonia, l'île de Zouitina, l'île Besais et l'île Farwa, font partie de (l'État libyen)
Méditerranée occidentale	Le bassin occidental se trouve à l'ouest de la mer Méditerranée et est relié au détroit de Gibraltar, ayant une connexion avec l'océan Atlantique	Mer Tyrrhénienne	La mer Tyrrhénienne constitue un bassin circonscrit à l'Ouest par la Sardaigne, au nord-ouest par la Corse, au nord-est par la péninsule italienne et au sud-est par la Sicile.	<ul style="list-style-type: none"> • <u>L'archipel Toscan</u> : les îles Elbe, Giglio, Capraia, Montecristo, Pianosa, Giannutri et Gorgona • <u>L'archipel Pontin</u> : avec les îles volcaniques de Ponza, Ventotene et Zannone • <u>Les îles Phlégréennes</u> : situées au large de Naples, comprennent Ischia, Procida, Vivara et Nisida • <u>Les îles Éoliennes</u> : avec 25 îles, dont les principales sont Lipari, Salina, Vulcano, Strombolicchio et Le Formiche • <u>Les îles Égades « îles aux chèvres »</u> : Levanzo, Marettimo, Favignana et les îles de Stagnone • <u>Les grandes îles</u> : telles que la Corse, la Sardaigne, la Sicile et Malte
		Bassin Algéro-provençal	Le bassin algéro-provençal s'étend entre l'Espagne, la France continentale, la Corse, l'Italie, la Sardaigne, la Tunisie et l'Algérie.	<ul style="list-style-type: none"> • L'archipel de Kerkennah et Kneiss, l'archipel de La Galite, les îles Cani, Fratelli, Pilau, l'île Plane, Zembra, l'île de Djerba, l'île Kuriat et Chikly (Tunisie) • L'île de l'Aute, l'île de Planasse, l'île du Soulier, l'archipel du Frioul, les îles des calanques, l'île de Planier, l'île d'Endoume, l'archipel des Embiez, les îles d'Hyères, l'île de Bendor, l'île d'Or et l'archipel de Lérins (France) • <u>L'archipel des Baléares</u> : îles de Minorque, Majorque, Ibiza, et Formentera. D'autres îles plus proches de la côte incluent les îles Medes, les îles Formigues, les îles des Bot, Aguascope, Tabarca, l'île Grosa, l'île de las Palomas, l'île Plane, la isla, l'île de Cueva de Lobos, l'île de Fraile (Espagne) • L'archipel des Habibas, l'île Plane, l'île Agueli, l'île des Pisans, îles du Petit et Grand Cavallo. D'autres îles et îlots sont dispersés près et loin de la côte algérienne
		Mer d'Alboran	La mer d'Alboran, représentant la partie la plus occidentale de la mer Méditerranée, est délimitée par la péninsule ibérique au nord, le Maghreb au sud et le détroit de Gibraltar à l'ouest. Son appellation provient de l'îlot d'Alboran, souvent qualifié de nombril de la mer.	<ul style="list-style-type: none"> • L'île de Rachgoun (Algérie) • Isla del Rey, Isla de Isabel II, l'île du Congrès, et l'île et l'îlot de Cala Iris (Maroc) • <u>L'archipel d'Alhucemas</u>: Al Hoceïma, Isla Tierra, Isla de Mar (Espagne) • L'île de San André, l'île de San Pedro, l'îlote de Piedra Negra, l'île La Rijana, et l'îlot de las Palomas (Espagne) • L'îlot Persil, L'île Tarifa (Gibraltar)

La carte ci-dessous présente les différentes mers du bassin méditerranéen où les milieux insulaires ont été recensés.

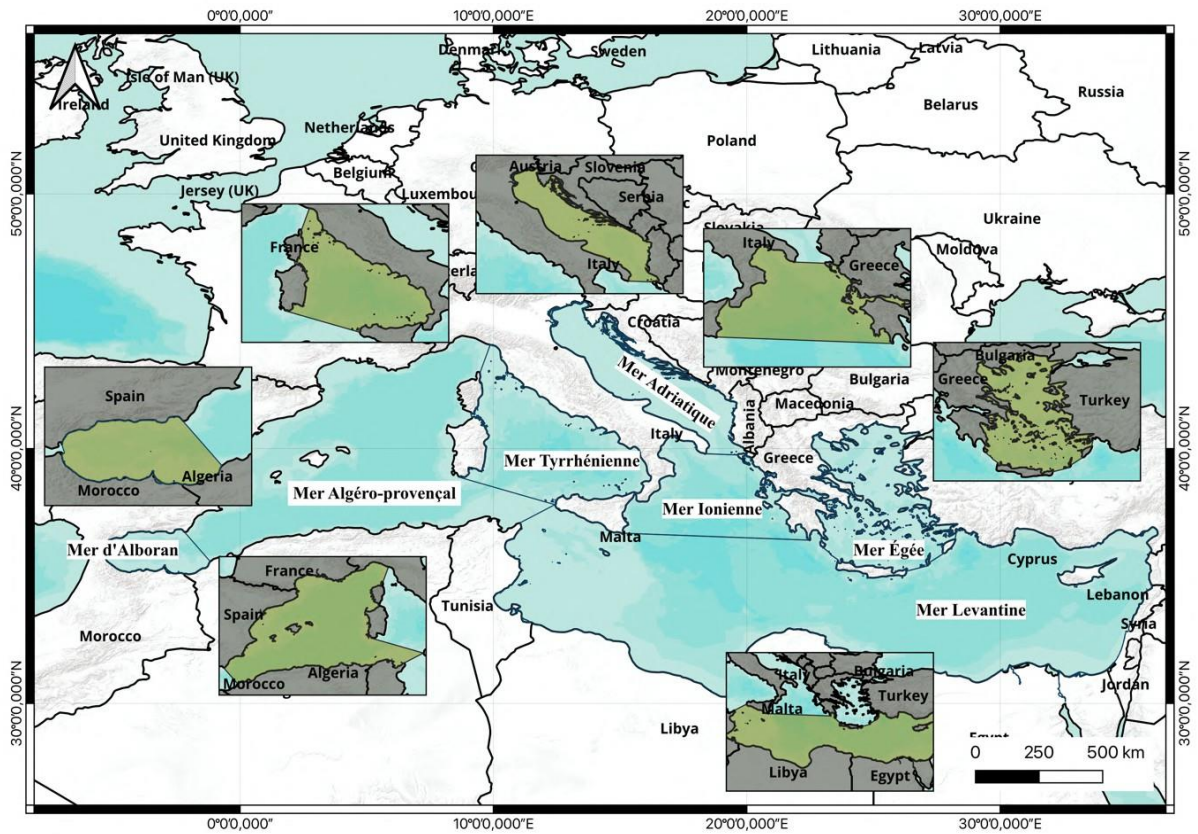


Figure 1 : Carte des divisions de la mer Méditerranée (Moussaoui, 2024)

1.5. Différence entre la biodiversité insulaire et côtière

La biodiversité des milieux insulaires et côtiers présente des caractéristiques écologiques distinctes qu'il est essentiel de comprendre pour mieux orienter les stratégies de conservation. Cette section propose une analyse comparative de ces deux types d'écosystèmes à travers trois critères clés : la richesse spécifique, l'endémisme et la vulnérabilité face aux pressions environnementales.

1.5.1. Richesse spécifique (diversité d'espèces)

Les milieux insulaires (îles et îlots) présentent souvent une richesse spécifique absolue inférieure à celle des zones côtières continentales de même taille. En effet, l'isolement géographique et la superficie limitée des îles restreignent le nombre d'espèces qui peuvent s'y établir. La théorie de la biogéographie insulaire, proposée par MacArthur & Wilson (1967), explique que les grandes îles abritent davantage d'espèces que les petites, et que les îles proches du continent accueillent plus d'espèces que les îles isolées. Ainsi, un petit îlot océanique héberge souvent une diversité biologique plus réduite qu'une portion équivalente de littoral continental où les échanges d'espèces sont facilités (Whittaker & Fernández-Palacios, 2007). Malgré cela, les îles possèdent une biodiversité remarquable à l'échelle locale, avec des espèces souvent spécialisées. En Méditerranée, par exemple, certaines petites îles agissent comme des « ponts écologiques » et abritent des assemblages uniques contribuant à la biodiversité régionale (Médail & Quézel, 1999). En comparaison, les milieux côtiers continentaux présentent une diversité d'espèces plus élevée, grâce à leur connectivité aux grandes zones biogéographiques. Les écosystèmes côtiers comme les récifs coralliens, mangroves ou herbiers marins sont parmi les plus riches au monde. Les récifs, par exemple, couvrent seulement 0,2 % des océans mais hébergent plus de 25 % des espèces marines connues (Lévêque & Mounolou, 2008 ; Ferraris et al., 2006).

1.5.2. Taux d'endémisme (espèces uniques à un lieu)

Les écosystèmes insulaires sont particulièrement connus pour leurs taux d'endémisme élevés. L'isolement prolongé favorise la spéciation : des lignées évoluent de façon indépendante, donnant naissance à des espèces uniques. Par exemple, en Nouvelle-Calédonie, plus de 75 % des 3 250 plantes vasculaires indigènes sont endémiques (Ibanez et al., 2014). À l'échelle mondiale, le taux moyen d'endémisme végétal sur les îles est 9,5 fois supérieur à celui des continents (Myers et al., 2000). Les îles sont donc considérées comme des « havres de l'endémisme », où chaque archipel fonctionne comme un laboratoire d'évolution (Whittaker & Fernández-Palacios, 2007). Cependant, cette richesse originale est souvent confinée à de petites zones et vulnérable à toute perturbation. À l'inverse, la biodiversité des côtes continentales présente généralement un faible taux d'endémisme. Leur connectivité favorise les flux de gènes et limite la formation d'espèces strictement locales. Des exceptions existent, comme certaines espèces halophiles ou ichtyofaunes estuariennes, mais globalement l'unicité y est moindre (Médail & Quézel, 1999 ; Myers et al., 2000).

1.5.3. Vulnérabilité écologique

Les écosystèmes insulaires sont particulièrement vulnérables aux perturbations. Leur isolement et leurs effectifs réduits limitent la résilience écologique. La faune et la flore y sont souvent naïves, n'ayant jamais été confrontées à certains prédateurs ou maladies, ce qui les rend très sensibles aux invasions biologiques (Courchamp et al., 2003). Environ 75 % des extinctions d'espèces recensées dans le monde ont eu lieu sur des îles (CBD, 2006). Les changements climatiques aggravent encore cette vulnérabilité : élévation du niveau de la mer, tempêtes extrêmes, salinisation des sols et érosion menacent particulièrement les atolls et petites îles basses (UNEP-WCMC, 2016 ; Sabinot et al., 2019). À l'inverse, les zones côtières continentales, bien qu'elles subissent une forte pression anthropique (urbanisation, pollution, tourisme), disposent souvent d'une plus grande résilience grâce à leur étendue et connectivité. En France méditerranéenne, 7 sur 9 types d'écosystèmes côtiers ont été classés vulnérables ou en danger (OFB, 2020). Toutefois, les espèces côtières peuvent parfois migrer ou recoloniser grâce à un réservoir génétique plus vaste, ce qui est rarement possible sur les îles isolées.

1.6. Concept de vulnérabilité côtière et insulaire

La vulnérabilité écologique désigne la sensibilité d'un écosystème aux perturbations, qu'elles soient naturelles (événements climatiques) ou anthropiques (pollution, artificialisation) (Turner et al., 2003). Elle se mesure à travers trois composantes : l'exposition au risque, la sensibilité du milieu, et la capacité de réponse ou d'adaptation (Sabinot et al., 2019). Ces dimensions sont communes aux milieux côtiers et insulaires mais s'expriment différemment selon le contexte géographique. Les îles sont structurellement plus vulnérables en raison de leur isolement, de leur superficie restreinte et de leur faible diversité génétique. Elles abritent souvent des espèces endémiques à aire de répartition réduite, particulièrement sensibles aux espèces invasives introduites. Environ 75 % des extinctions mondiales enregistrées ont eu lieu sur des îles (Courchamp et al., 2003). Les possibilités de recolonisation y sont limitées, et une seule perturbation peut déstabiliser l'ensemble de l'écosystème. Les territoires insulaires sont aussi en première ligne face aux changements climatiques : élévation du niveau de la mer, érosion, salinisation, événements extrêmes (cyclones). Ces phénomènes menacent directement les îles basses comme les atolls, réduisant leur surface habitable et leur autonomie écologique (Docteur, 2014 ; UNEP-WCMC, 2016). La dépendance de nombreuses îles à des ressources extérieures (eau, nourriture, énergie) accentue leur fragilité systémique. Les zones côtières continentales, quant à elles, sont soumises à une pression humaine intense liée à l'urbanisation, au tourisme, aux infrastructures portuaires et à la pollution. Cette artificialisation progressive entraîne une fragmentation des habitats (mangroves, lagunes, dunes) et une perte de biodiversité locale (Burac, 2010). Toutefois, ces milieux disposent parfois d'une meilleure résilience grâce à leur continuité écologique avec l'intérieur des terres (Benzaken & Renard, 2011). En somme, les deux milieux sont vulnérables mais différemment : les îles sont plus exposées à des risques systémiques et irréversibles, tandis que les côtes subissent une érosion progressive liée à l'intensité des usages humains.

1.6.1. Exemple de travaux fait sur la vulnérabilité côtière en Algérie

En Algérie, plusieurs études ont été menées pour évaluer la vulnérabilité de la zone côtière face aux pressions naturelles et humaines. À Skikda, Chabane. S (2021) a étudié l'évolution du trait de côte en combinant images satellitaires multi-temporelles et outils SIG. Cette analyse a révélé un recul significatif du littoral lié à l'urbanisation, à l'aménagement industriel et à l'absence de gestion intégrée. Les zones portuaires et urbaines se sont montrées particulièrement sujettes à l'érosion.

À Béjaïa, Benhamiche-Hanifi et Moulai (2012) ont analysé la flore littorale et insulaire par des relevés phytosociologiques, en particulier sur les îlots soumis à la présence du goéland leucophaea. Leur approche a permis d'identifier une perte de biodiversité végétale native, due à la pression exercée par cette espèce opportuniste et les perturbations anthropiques. L'étude met en évidence la fragilité des petits îlots côtiers face aux invasions biologiques.

Dans la baie d'Alger, Bouzid. A (2015) a utilisé des systèmes d'information géographique (SIG) et des modèles numériques de terrain pour cartographier les zones à risque de submersion marine. En modélisant différents scénarios d'élévation du niveau de la mer, il a pu identifier les secteurs urbains côtiers les plus vulnérables. Les résultats soulignent la nécessité d'adapter l'aménagement du littoral à ces risques futurs.

À Jijel, Guettouche. M (2020) et ses collègues ont mené une étude de terrain sur les écosystèmes côtiers en croisant observations biologiques et données d'usage du sol. L'impact du développement touristique, de l'artificialisation et du rejet de polluants a été analysé, révélant une dégradation importante des plages, des dunes et de la biodiversité associée. L'étude préconise des mesures de gestion durable pour freiner l'érosion écologique.

Enfin, à Oran, Bensalem. F (2016) a évalué la vulnérabilité des infrastructures côtières face aux effets des tempêtes et à la montée du niveau de la mer. À partir de données topographiques et climatiques croisées avec les projections du GIEC, il a identifié les secteurs sensibles à la submersion et à l'érosion. Ses résultats soulignent une exposition accrue des zones urbanisées et appellent à une refonte des politiques d'aménagement côtier.

Ces travaux, chacun avec des méthodologies complémentaires (SIG, relevés de terrain, modélisation, analyse floristique), illustrent la diversité des approches scientifiques appliquées à la compréhension de la vulnérabilité côtière en Algérie.

Chapitre 2

*Structuration spatiale et gestion des
bases de données par système
d'information géographique*

2. Structuration spatiale et gestion des bases de données par système d'information géographique

L'évaluation de la vulnérabilité écologique constitue une étape clé dans la compréhension des dynamiques éco systémiques face aux pressions environnementales croissantes (Turner et al., 2003 ; IPBES, 2019). Cette démarche exige une approche méthodique appuyée sur une gestion rigoureuse de l'information spatiale et écologique. Au centre de ce processus se trouve la conception d'une base de données géo spatiale, véritable infrastructure analytique permettant l'intégration des facteurs biophysiques, socio-économiques et territoriaux influençant la résilience des milieux naturels (Adger, 2006 ; Schröter et al., 2005). Ce chapitre est ainsi consacré à la structuration, à l'architecture et aux fonctionnalités de la base de données développée dans le cadre de la Base Algérienne Nationale de la Biodiversité Marine (BANBIOM), en mettant en lumière la sélection des attributs pertinents, la justification des choix méthodologiques, ainsi que les modèles de données conçus pour appuyer l'analyse de la vulnérabilité écologique à différentes échelles spatiales.

2.1. Cadre conceptuel des bases de données

2.1.1. Définition et fonction des bases de données

Une base de données désigne un ensemble structuré d'informations stockées numériquement, accessible et modifiable par des programmes informatiques. Organisée selon un modèle relationnel en tables composées de lignes et de colonnes, elle permet une organisation logique et normalisée des données (Ughetto, 2013). Cette structure en fait un outil polyvalent, capable de gérer une grande variété de données, y compris dans le domaine de l'environnement. Par exemple, les bases de données sont utilisées pour la surveillance du milieu marin, notamment dans le suivi des micro déchets et micro plastiques, facilitant leur analyse et leur interprétation à des fins scientifiques et de gestion (Moigne et al., 2016). Elles jouent également un rôle essentiel dans le suivi temporel des écosystèmes marins et dans l'aide à la prise de décision pour la gestion durable et la conservation des milieux (Dagany et al., 2001).

Les fonctions des bases de données peuvent être regroupées en plusieurs catégories essentielles :

- **Gestion des données** : elles permettent de stocker, organiser, modifier, supprimer et interroger les données via un système de gestion (SGBD), garantissant ainsi une manipulation efficace de l'information (Ciampi et al., 2019).
- **Recherche et extraction** : les bases de données offrent des fonctionnalités avancées pour filtrer, interroger et agréger de grandes quantités de données, facilitant l'identification d'informations pertinentes (Bost, 2018).
- **Analyse et visualisation** : elles permettent de produire des analyses statistiques, des graphes, des tableaux de bord ou des rapports synthétiques pour soutenir la compréhension et la prise de décision (Degrigny et al., 2017).
- **Sécurité et contrôle d'accès** : elles intègrent des mécanismes de protection des données, notamment par des mots de passe, des niveaux d'autorisation utilisateur et des politiques de confidentialité (Oquendo, 1990).
- **Interopérabilité et intégration** : elles peuvent être interconnectées à d'autres systèmes via des protocoles standardisés, assurant une compatibilité fonctionnelle entre différentes plateformes et applications (Nguyen, 1986).

2.1.2. Pertinence des bases de données dans l'analyse des milieux insulaires

Les bases de données peuvent être développées à différentes échelles, allant du niveau global jusqu'à des contextes locaux. Leur utilité dans l'analyse des milieux insulaires repose sur leur capacité à centraliser et structurer de manière cohérente une grande diversité de données propres à ces écosystèmes particuliers (Bernard et al., 2008). Ces outils permettent de compiler des informations détaillées sur la biodiversité insulaire en intégrant des variables environnementales telles que le climat, la nature du substrat ou encore la bathymétrie. De plus, elles jouent un rôle essentiel dans l'évaluation de la vulnérabilité écologique de ces milieux, en croisant les données relatives aux pressions anthropiques, aux pollutions, aux perturbations physiques ou aux modifications hydrologiques. Ainsi, elles contribuent à une lecture plus fine des dynamiques environnementales et des enjeux de conservation propres aux milieux insulaires.

2.2.Exemple des bases de données relatives à la biodiversité marine

2.2.1. Modèles des bases de données écologiques

Plusieurs bases de données spécialisées ont été développées pour le traitement et la gestion des informations relatives à la biodiversité marine, couvrant divers aspects liés aux espèces, à leur répartition spatiale, à leurs caractéristiques écologiques, ainsi qu'à leur conservation. Ces plateformes sont devenues des outils fondamentaux pour la collecte, l'organisation, l'analyse et le partage de données sur les milieux marins (Levrel et al., 2010).

- ***World Register of Marine Species (WoRMS)*** : est la base taxinomique marine la plus complète au monde, offrant une nomenclature validée des espèces marines, avec des informations sur leur classification, synonymie, statut taxonomique et répartition. Alimentée par un vaste réseau international d'experts, elle centralise plusieurs bases spécialisées, comme l'ERMS, via la plateforme Aphia, avec le soutien de l'Union européenne. WoRMS assure également une interopérabilité avec d'autres bases de données majeures telles qu'AlgaeBase, FishBase ou The Reptile Database, ce qui garantit la qualité et l'actualisation constante des données marines (WoRMS, 2024 ; Levrel et al., 2010).
- ***Global Biodiversity Information Facility (GBIF)*** : est une infrastructure scientifique internationale qui vise à rendre librement accessibles des millions de données sur la biodiversité, terrestre comme marine. Elle facilite l'accès universel à des données fiables et standardisées, utiles à la recherche, à la conservation et à la gestion durable des ressources naturelles. Grâce à son architecture ouverte et collaborative, GBIF est aujourd'hui l'un des piliers de la science ouverte en écologie globale (GBIF.org, 2024).
- ***Ocean Biogeographic Information System (OBIS)*** : réunit plus de 500 institutions de 56 pays et compile plus de 45 millions d'occurrences sur environ 120 000 espèces marines. Couvrant tous les océans et toutes les profondeurs, jusqu'à 10 900 m, OBIS fournit des données robustes sur la répartition, l'abondance et les habitats marins. Cette base s'inscrit dans les objectifs de la Convention sur la diversité biologique, notamment l'objectif 19 d'Aichi, en garantissant un accès libre aux données marines pour la science et les politiques publiques. (OBIS.org, 2024)

- ***Hellenic National Oceanographic Data Centre (HNODC)*** : est le centre de données océanographiques de la Grèce, intégré au réseau mondial des NODC. Il assure la collecte, la validation et la diffusion des données océanographiques selon les standards internationaux. Ce centre exploite notamment le système POSEIDON, qui permet une surveillance en temps réel des conditions marines en mer Égée et Ionienne, avec plus de 320 000 données environnementales en accès (HNODC/POSEIDON, 2024).

2.2.2. Modèles de bases de données sur la vulnérabilité côtière

Les bases de données sur la vulnérabilité côtière permettent de centraliser les informations relatives aux risques d'érosion, de submersion et aux pressions humaines (Gornitz, 1991). Elles combinent des données physiques, écologiques et socio-économiques pour évaluer les zones sensibles et guider les décisions d'aménagement (Vafeidis et al., 2008). Utilisées dans les systèmes d'information géographique, elles soutiennent les politiques de gestion durable du littoral face au changement climatique (IFREMER, SHOM & OFB, 2020).

- ***CVI – Coastal Vulnerability Index*** : est un outil de classification spatiale qui permet de déterminer les zones côtières les plus exposées à l'érosion, à la submersion marine et au changement climatique. Il repose sur une agrégation d'indicateurs physiques (géologie, pente, élévation), hydrodynamiques (énergie des vagues), et humains (densité de population, infrastructures). Il est couramment utilisé dans les SIG pour produire des cartes de vulnérabilité, notamment dans les projets du USGS ou les littoraux méditerranéens (Gornitz, 1991).
- ***DIVA – Dynamic Interactive Vulnerability Assessment*** : est une base de données mondiale associée à un modèle intégré de simulation qui évalue la vulnérabilité des zones côtières face à l'élévation du niveau marin. Elle intègre des données physiques (altitude, substrat), humaines (population, urbanisation) et économiques (dommages projetés, options d'adaptation). Elle est utilisée pour générer des scénarios d'impact dans les rapports du GIEC et projets de résilience côtière (Vafeidis et al., 2008).
- ***COS – Couches Objectifs Sensibles*** : Les données COS représentent une base spatialisée nationale française recensant les habitats et zones écologiques sensibles du littoral. Ces couches incluent des informations sur la nature des écosystèmes, leur degré de vulnérabilité, leur protection juridique et leur localisation géographique. Utilisée dans la gestion intégrée des zones côtières (GIZC), elle est cruciale pour orienter l'aménagement durable des littoraux en France et en Méditerranée (IFREMER, SHOM, & OFB, 2020).
- ***SBD – Sediment Budget Database*** : est utilisée pour mesurer les flux sédimentaires littoraux, élément clé dans l'analyse de l'érosion des plages ou la construction d'ouvrages de défense. Elle documente les volumes de sédiments gagnés ou perdus, leurs sources (fluviales, marines) et leur direction. Elle permet d'élaborer des modèles dynamiques des bilans sédimentaires, notamment dans les études d'ingénierie côtière (Cooper & Pilkey, 2004).

- ***SLAMM – Sea Level Affecting Marshes Model*** : est un modèle prédictif qui simule les transformations des écosystèmes côtiers (marais, mangroves) en réponse à l'élévation du niveau de la mer. Il intègre des variables géographiques (élévation, type de sol, végétation) dans un modèle spatio-temporel. Utilisé principalement aux États-Unis, il aide les agences environnementales à anticiper les pertes d'habitats et à orienter la conservation (Clough et al., 2010).

2.2.3. Modèles de bases de données sur la vulnérabilité des milieux insulaires

Les milieux insulaires sont particulièrement sensibles aux perturbations naturelles et anthropiques, notamment à cause de leur isolement, de leur superficie réduite et de leur forte concentration en espèces endémiques (Whittaker & Fernández-Palacios, 2007). Les bases de données sur la vulnérabilité insulaire permettent de collecter, structurer et analyser les facteurs de risque liés à la perte de biodiversité, aux catastrophes climatiques et aux pressions humaines (Courchamp et al., 2003). Elles jouent un rôle crucial dans les politiques de résilience des territoires insulaires face au changement climatique et à l'élévation du niveau de la mer (UNEP-WCMC, 2016).

- ***Insular Biodiversity and Invasives Database (IBID)*** : est une base de données dédiée à la vulnérabilité des écosystèmes insulaires vis-à-vis des espèces exotiques envahissantes. Elle recense les occurrences d'introductions, les impacts documentés, les habitats affectés et les espèces natives en danger. Son objectif est d'orienter les priorités de conservation et les interventions de gestion des espèces introduites dans les îles (Courchamp et al., 2003).
- ***SIDS Biodiversity Database (Small Island Developing States)*** : Développée sous l'égide de l'ONU, cette base contient des indicateurs environnementaux, sociaux et climatiques spécifiques aux petits États insulaires. Elle permet de suivre les pressions sur les ressources naturelles, les plans d'adaptation au climat et la perte de services écosystémiques. Elle est utilisée dans les rapports internationaux sur la vulnérabilité et la résilience des SIDS (UNEP-WCMC, 2016).
- ***Island Vulnerability Mapping Tool (IVMT)*** : est une base de données spatialisée utilisée pour cartographier la vulnérabilité des îles aux aléas naturels (submersion, cyclones, sécheresses). Elle intègre des variables telles que la densité de population, l'accès aux ressources, l'altitude moyenne et la dépendance économique. Elle est couplée à des outils SIG pour des scénarios de résilience territoriale (Whittaker & Fernández-Palacios, 2007).

2.3. Conception architecturale des systèmes des bases de données

Il existe une grande diversité de bases de données, sélectionnées selon les objectifs propres à chaque projet (Gardarin, 2003). Certaines sont spécifiquement orientées vers la recherche scientifique et la modélisation fine de phénomènes naturels, tandis que d'autres ont pour vocation de soutenir les processus de gouvernance et d'aménagement, en intégrant des critères sociaux, environnementaux et économiques. Ces dernières, dites « bases de données mixtes », jouent un rôle crucial dans la prise de décision environnementale. Dans le contexte des milieux insulaires et de leur vulnérabilité, l'usage de telles bases est essentiel pour croiser des données écologiques sensibles avec des indicateurs de gestion intégrée du territoire (Meynard & Dendoncker, 2015). La présente étude s'appuie donc sur cette seconde catégorie de bases, à forte valeur stratégique, pour éclairer les décisions liées à la préservation et à l'adaptation des systèmes insulaires face aux pressions globales.

2.3.1. Typologies des architectures des bases de données

Il existe plusieurs types de base de données selon Hainaut (2009) et Prat (2021), le tableau ci-dessous illustre cette typologie :

Table 2 : Typologies des bases de données (Hainaut, 2009; Prat, 2021)

Type de base de données	Définition	Objectif principal
Relationnelle	Basée sur la théorie des ensembles, cette base organise les données en tables interconnectées par des relations logiques.	Gérer efficacement des données structurées dans les domaines de la gestion, des ressources ou de la finance.
Cloud	Base hébergée sur des serveurs distants et accessible via Internet, souvent sous forme de service (SaaS).	Faciliter le stockage et l'accès à distance des données, avec une forte évolutivité pour les applications mobiles et web.
Orientée objet	Conçue pour stocker des objets logiciels complexes plutôt que de simples enregistrements tabulaires.	Intégrer des structures de données complexes dans des environnements orientés objet (Java, C++, etc.).
Centralisée	Toutes les données sont réunies dans une seule instance physique ou logique, souvent gérée de manière hiérarchique.	Assurer la cohérence et la centralisation des données dans les systèmes organisationnels.
Graphique	Modélise les données sous forme de graphes, avec des nœuds pour les entités et des arêtes pour leurs relations.	Gérer des réseaux complexes (sociaux, sémantiques, logistiques) avec des fonctions de recherche de chemins ou de communautés.

2.3.2. Structuration des bases de données

Cette étude repose sur l'élaboration de trois bases de données interconnectées, permettant une analyse multidimensionnelle des écosystèmes littoraux de la côte ouest algérienne, de Mostaganem à Tlemcen. Ces bases ont été spécifiquement développées pour cartographier, classifier et croiser les informations relatives aux habitats remarquables, aux sites pollués, ainsi qu'à la biodiversité marine autour de l'île de Rachgoun, un site clé du littoral méditerranéen algérien.

La première base de données est dédiée à l'inventaire et à la caractérisation des habitats remarquables du littoral ouest, incluant les herbiers de *Posidonia oceanica*, les formations coralligènes, et les zones rocheuses à forte diversité biologique. Elle intègre une structuration spatiale des biotopes en lien avec les paramètres environnementaux côtiers.

La seconde base est centrée sur les sites littoraux affectés par les pressions anthropiques, notamment la pollution. Elle rassemble des données sur les concentrations en contaminants (métaux lourds, hydrocarbures), les rejets industriels et urbains, et les altérations observées au niveau des sédiments et de la colonne d'eau. Cette structure permet d'évaluer le degré de dégradation environnementale et d'identifier les zones critiques nécessitant des actions prioritaires.

Enfin, la troisième base concerne exclusivement l'île de Rachgoun, avec une approche orientée biodiversité. Elle compile des données sur la faune et la flore marine, incluant les espèces endémiques, menacées en relation avec les habitats insulaires. La base est également enrichie d'informations spatiales et écologiques propres à cette zone insulaire à forte valeur patrimoniale.

Ensemble, ces trois bases de données constituent un outil intégratif d'aide à la décision, facilitant les évaluations écosystémiques et la mise en place de mesures de gestion durable à l'échelle régionale.

- **Structure taxinomique**

La composante taxinomique de cette étude met en lumière la richesse biologique de l'environnement marin autour de l'île de Rachgoun, en s'appuyant sur une base de données spécifiquement structurée à partir de 20 attributs issus du World Register of Marine Species (WoRMS). Ces attributs sont principalement de nature qualitative dans le cadre de la classification biologique, englobant des informations telles que les noms scientifiques, auteurs, statuts taxinomiques, classes, ordres, familles, embranchement, ainsi que les environnements marins d'occurrence. Certains attributs revêtent également une dimension quantitative, incluant des éléments comme les coordonnées géographiques (longitude et latitude). L'objectif de cette structuration est de permettre une représentation cohérente et standardisée de la biodiversité marine, en accord avec les référentiels internationaux. Les données intégrées dans cette base ont été collectées à partir de sources scientifiques vérifiées, incluant des articles de revues spécialisées, des communications et rapports scientifiques portant sur la biodiversité marine de la région ouest-algérienne. Cette démarche de collecte a été conduite avec rigueur afin de garantir la fiabilité, la traçabilité et la précision des informations utilisées dans l'analyse taxinomique. Le détail des attributs inclus dans la base de données est synthétisé dans le tableau ci-dessous :

Table 3 : Attributs utilisée dans la structure taxinomique de la base de données

N°	Nom de l'attribut	Description
1	Espèce	Nom latin donné à l'espèce, écrit en italique.
2	Aphia ID (Code)	Identifiant unique attribué par le WoRMS pour référencer de manière spécifique une espèce marine.
3	Descripteur	Premier auteur qui a décrit l'espèce, ainsi que l'année.
4	Règne	Plus haut niveau de classification taxinomique, regroupant les organismes en fonction de caractéristiques générales communes.
5	Embranchement	Niveau de classification taxinomique regroupant des organismes partageant des caractéristiques anatomiques spécifiques.
6	Classe	Niveau de classification regroupant des organismes partageant des caractéristiques, morphologiques et physiologiques communes.
7	Ordre	Niveau de classification regroupant des familles d'organismes partageant des caractéristiques évolutives communes.
8	Famille	Niveau de classification regroupant des genres partageant des caractéristiques évolutives communes.
9	Genre	Catégorie taxinomique regroupant des espèces étroitement liées, écrit en italique.
10	Espèce	Nom latin donné à l'espèce, écrit en italique.
11	Coordonnées Longitude X (Degré décimaux)	Mesure de la position est-ouest où est située l'espèce sur la surface terrestre.
12	Coordonnées Latitude Y (Degré décimaux)	Mesure de la position nord-sud où est située l'espèce sur la surface terrestre.
13	Milieu ¹	Zone écologique principale dans laquelle une espèce marine est observée.
14	Type ²	Catégorie biologique générale à laquelle appartient l'organisme recensé
15	Statut de Protection ³	Indication du niveau de protection attribué à une espèce en raison de son statut de conservation.
16	Référence consultée ⁴	Source ou document de référence utilisé pour obtenir des informations sur une espèce marine particulière.

1. **Catégorie du milieu** : benthique ou pélagique
2. **Catégorie du type** : faune ou flore
3. **Catégorie du statut de protection** : éteint, éteint à l'état sauvage, en danger critique d'extinction, en danger, vulnérable, quasi menacée, préoccupation mineure, données insuffisantes, non-évalué.
4. **Catégorie des références consultées** : article scientifique, communication nationale ou internationale, rapport scientifique.

- **Structure écosystémique**

La composante écosystémique de cette étude met en valeur la diversité des habitats remarquables le long de la côte ouest algérienne, à travers une base de données spécifiquement construite pour regrouper, classer et analyser ces milieux naturels. Cette base repose sur une structuration fondée sur un ensemble d'attributs écologiques, spatiaux et biologiques, permettant d'identifier les principaux types d'habitats marins (herbiers, zones rocheuses, coralligène, fonds meubles biologiquement actifs, etc.) et d'en caractériser les propriétés écologiques. Les attributs utilisés sont de nature mixte. Certains sont qualitatifs, décrivant la nature de l'habitat, son mode de répartition (continu ou discontinu), ses associations biologiques (espèces indicatrices, protégées, introduites), ou encore les interactions avec d'autres habitats voisins. D'autres présentent une dimension quantitative, tels que les coordonnées géographiques (longitude, latitude), la profondeur minimale et maximale, la surface estimée, ou encore la distance à la côte. Cette structuration vise à fournir une représentation normalisée des habitats côtiers remarquables, en conformité avec les standards de description écologique marine reconnus à l'échelle méditerranéenne. Les données compilées proviennent de publications scientifiques, d'inventaires écologiques, de rapports d'expertise, ainsi que de relevés de terrain réalisés dans le cadre de projets de recherche ou de conservation marine. La rigueur appliquée dans la compilation et la vérification des sources permet d'assurer la fiabilité, la cohérence et l'utilité de cette base de données dans une optique de diagnostic écologique, de suivi des changements, et de planification de mesures de protection ou de gestion durable. Le détail des attributs intégrés dans cette structure est présenté dans le tableau ci-dessous :

Chapitre 2

Table 4 : Attributs utilisée dans la structure écosystémique de la base de données

N°	Attribut	Description
1	Habitat	Type principal d'habitat naturel observé (ex : herbiers, coralligène, substrat rocheux).
2	Localisation géographique	Nom du site ou de la zone géographique d'observation.
3	Commune	Commune administrative où se situe l'habitat.
4	Wilaya	Wilaya correspondante à la zone étudiée.
5	Coordonnée (x;y)	Coordonnées géographiques du site (longitude ; latitude).
6	Étendue	Surface estimée de l'habitat en m ² .
7	Distance par rapport à la côte	Distance en mètres ou kilomètres entre l'habitat et le trait de côte.
8	Type (continue, discontinue)	Caractère spatial de l'habitat (répartition homogène ou fragmentée).
9	Nb espèce associée	Nombre total d'espèces identifiées dans cet habitat.
10	Nb espèce protégée	Nombre d'espèces protégées présentes dans l'habitat.
11	Habitat associé	Autre habitat directement en lien avec l'habitat principal.
12	Nb espèce introduite	Nombre d'espèces non indigènes observées dans le site.
13	Profondeur min	Profondeur minimale mesurée ou estimée (en mètres).
14	Profondeur max	Profondeur maximale mesurée ou estimée (en mètres).
15	Autres habitats associés	Liste complémentaire d'habitats en lien écologique avec le site étudié.
16	Sources	Documents scientifiques ou rapports ayant permis la collecte de l'information.
17	Lien	Adresse URL vers la source en ligne si disponible (publication, base de données, etc.).

• Structure anthropique

La composante anthropique de cette étude s'attache à documenter l'empreinte des activités humaines sur les milieux marins et côtiers de la façade ouest de l'Algérie, à travers une base de données structurée spécifiquement autour des sites identifiés comme pollués. Cette structure vise à recenser, localiser et qualifier les formes de pollution affectant les écosystèmes littoraux, en tenant compte de leurs origines, de leurs manifestations, ainsi que de leurs impacts potentiels sur la biodiversité et les habitats marins.

Les attributs de cette base sont de nature à la fois descriptive et analytique. Sur le plan qualitatif, ils intègrent les types de pollution (organique, chimique, plastique, etc.), les éléments polluants identifiés (métaux lourds, hydrocarbures, déchets solides...), les sources probables de contamination (activités portuaires, rejets domestiques, effluents industriels), ainsi que les effets constatés ou présumés sur les milieux naturels. Du point de vue spatial et quantitatif, des coordonnées géographiques précises, les zones communales concernées, ainsi que la localisation administrative (commune, wilaya) sont associées à chaque point recensé.

Cette structuration vise à faciliter l'analyse croisée entre pression humaine et vulnérabilité écologique, et à alimenter des diagnostics environnementaux robustes. Elle s'inscrit également dans une perspective de gestion intégrée, en fournissant une base d'information fiable et actualisable, utile aux acteurs de la conservation, de l'aménagement du littoral, ou de la surveillance environnementale.

Les données renseignées ont été recueillies à partir de publications scientifiques, de rapports techniques, d'études environnementales et d'observations de terrain, avec un souci constant de validation des sources. Le tableau ci-dessous présente le détail des attributs utilisés dans cette structure anthropique.

Table 5 : Attributs utilisée dans la structure anthropique de la base de données

N°	Attribut	Description
1	Wilaya	Division administrative principale de l'Algérie correspondant à la localisation du site pollué.
2	Commune	Subdivision administrative locale dans laquelle se trouve la zone affectée par la pollution.
3	Zone spécifique	Lieu ou entité géographique précise où la pollution a été identifiée (plage, port, embouchure, etc.).
4	Coordonnée (x;y)	Coordonnées géographiques précises du point de pollution (longitude ; latitude).
5	Types de pollution	Catégorie principale de pollution observée (chimique, organique, plastique, industrielle, etc.).
6	Éléments polluants	Substances spécifiques identifiées comme agents polluants (métaux lourds, hydrocarbures, déchets solides, etc.).
7	Sources de pollution	Origine ou cause probable de la pollution (rejets domestiques, effluents industriels, activité portuaire, etc.).
8	Impacts de la pollution	Conséquences environnementales ou biologiques observées ou attendues (dégradation de l'habitat, mortalité, perte de biodiversité, etc.).
9	Source	Référence ou publication ayant permis de collecter ou confirmer les données.
10	Lien	Adresse URL vers la source ou le document utilisé pour documenter l'information.

2.3.3. Résultats de la structuration des bases de données

a. Résultats de la structuration taxinomique

La présente étude a permis de répertorier 473 espèces marines dans la zone entourant l'île de Rachgoun, située sur la côte ouest de l'Algérie. Parmi ces espèces, la majorité appartient aux embranchements Mollusca, Arthropoda, Chordata et Cnidaria, couvrant une large diversité écologique. Le nombre d'espèces protégées recensées s'élève à 43, tandis que 17 espèces introduites ont également été identifiées. L'espèce la plus fréquemment observée est une phanérogame marine appartenant au genre *Posidonia*, indicatrice de la bonne qualité écologique des fonds. La profondeur d'occurrence des espèces varie entre 1 mètre et 35 mètres, avec une concentration plus marquée dans les zones herbeuses et les fonds rocheux associés à l'île.

La liste d'espèces est rapportée en annexe (Annexe 1)

Les figures ci-dessous représentent respectivement une partie de la base de données de la structure taxinomique et le diagramme de distribution de la biodiversité recensée à partir de la base de données au tour de l'île de Rachgoun :

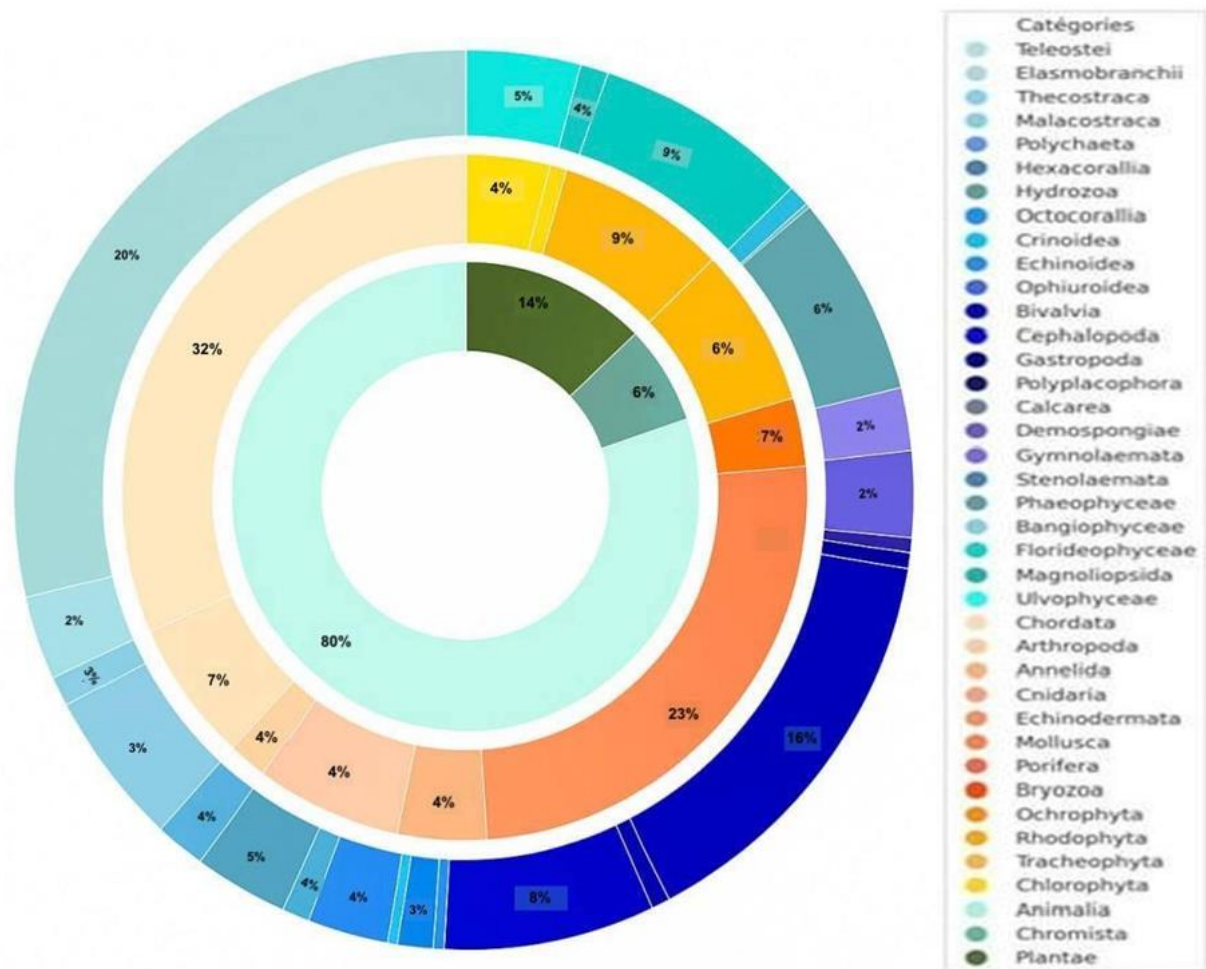


Figure 2 : Diagramme de distribution de la biodiversité recensée à partir de la base de données

Chapitre 2

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Espece	AphiaID	Descripteur	kingdom	phylum	class	order	family	genus	valid_name	valid_Aphi
2	Abra alba	141433	(W. Wood, 1802)	Animalia	Mollusca	Bivalvia	Cardiida	Semelidae	Abra	Abra alba	141433
3	Acanthocardia tuberculata	381057	(Linnaeus, 1758)	Animalia	Mollusca	Bivalvia	Cardiida	Cardiidae	Acanthocardia	Acanthocardia tuberculata	381057
4	Acanthodoris pilosa	140627	(Abildgaard, 1789)	Animalia	Mollusca	Gastropoda	Nudibranchia	Onchidorididae	Acanthodoris	Acanthodoris pilosa	140627
5	Acetabularia acetabulum	494795	(Linnaeus) P.C. Silva, 1952	Plantae	Chlorophyta	Ulvophyceae	Dasycladales	Polyphysaceae	Acetabularia	Acetabularia acetabulum	494795
6	Actinia cari	100801	Delle Chiaje, 1822	Animalia	Cnidaria	Hexacorallia	Actiniaria	Actiniidae	Actinia	Actinia cari	100801
7	Actinia equina	100803	(Linnaeus, 1758)	Animalia	Cnidaria	Hexacorallia	Actiniaria	Actiniidae	Actinia	Actinia equina	100803
8	Aeolidiella alderi	138710	(Cocks, 1852)	Animalia	Mollusca	Gastropoda	Nudibranchia	Aeolidiidae	Aeolidiella	Aeolidiella alderi	138710
9	Aglaophenia spp.	116999	Lamouroux, 1812	Animalia	Cnidaria	Hydrozoa	Leptothecata	Aglaopheniidae	Aglaophenia	Aglaophenia	116999

Figure 3 : Image de la base de données de la structure taxinomique

b. Résultats de la structure écosystémique

La présente étude a permis d'identifier 37 habitats remarquables répartis le long de la côte ouest algérienne, entre Mostaganem et Tlemcen. Ces habitats incluent principalement des herbiers de *Posidonia oceanica*, des zones rocheuses infralittorales, des fonds coralligènes et quelques zones sableuses biologiquement actives. La superficie la plus étendue est observée dans la zone de Ténès, avec un habitat herbacé couvrant près de 65 hectares. La profondeur des habitats varie entre 0,5 mètre pour les formations littorales superficielles et 40 mètres pour les formations coralligènes profondes. Sur l'ensemble des sites recensés, 24 présentent une structure continue, tandis que les 13 autres sont fragmentés ou discontinus. La distance par rapport à la côte varie de quelques mètres à plus de 2 kilomètres, notamment pour les habitats autour des îlots et de l'île de Rachgoun. Les figures ci-dessous représentent respectivement une partie de la base de données et la carte de répartition de ces habitats remarquables :

	A	B	C	D	
1	Habitat	Localisation géographique	Commune	Wilaya	Coordonnée (x;y)
16	band de corail	cap blanc	Aïn El Kerma	Oran	35,67073°N / -1,
17	fond rocheux	iles habibas	Aïn El Kerma	Oran	35,72367°N / -1,1
18	Plates formes à vermet	Golf d'Oran	oran	Oran	35° 43' 32"N/0°
19	fond sableux	Golf d'Oran	oran	Oran	35° 43' 32"N/0°
20	coralligene	Golf d'Oran	oran	Oran	35° 43' 32"N/0°
21		grotte de la guitare	M'Said	Aïn Témouchent	35,565008N / -1,
22	Vermet	ile de sbiate	Messaid	Aïn Témouchent	
23	herbier de posedonie	Boudzejar plage	Boudzejar	Aïn Témouchent	35,58639°N/-1,1
24	fond sableux	Hadjadj		Mostaganem	36° 08' N / 1° 80
25	fond rocheux	Cap-Ivi	Ben Abdelmalek F	Mostaganem	36° 07' 02,197" N
26	Plates formes à vermet	cap figalo	beni saf	Aïn Témouchent	35° 34' 28,1" N, :
27	fonds sableux	cap figalo	beni saf	Aïn Témouchent	35° 34' 28,1" N, :
28	fond sableux/ coralligene	Cap Russo		Oran	

Figure 4 :: Image de la base de données de la structure écosystémique

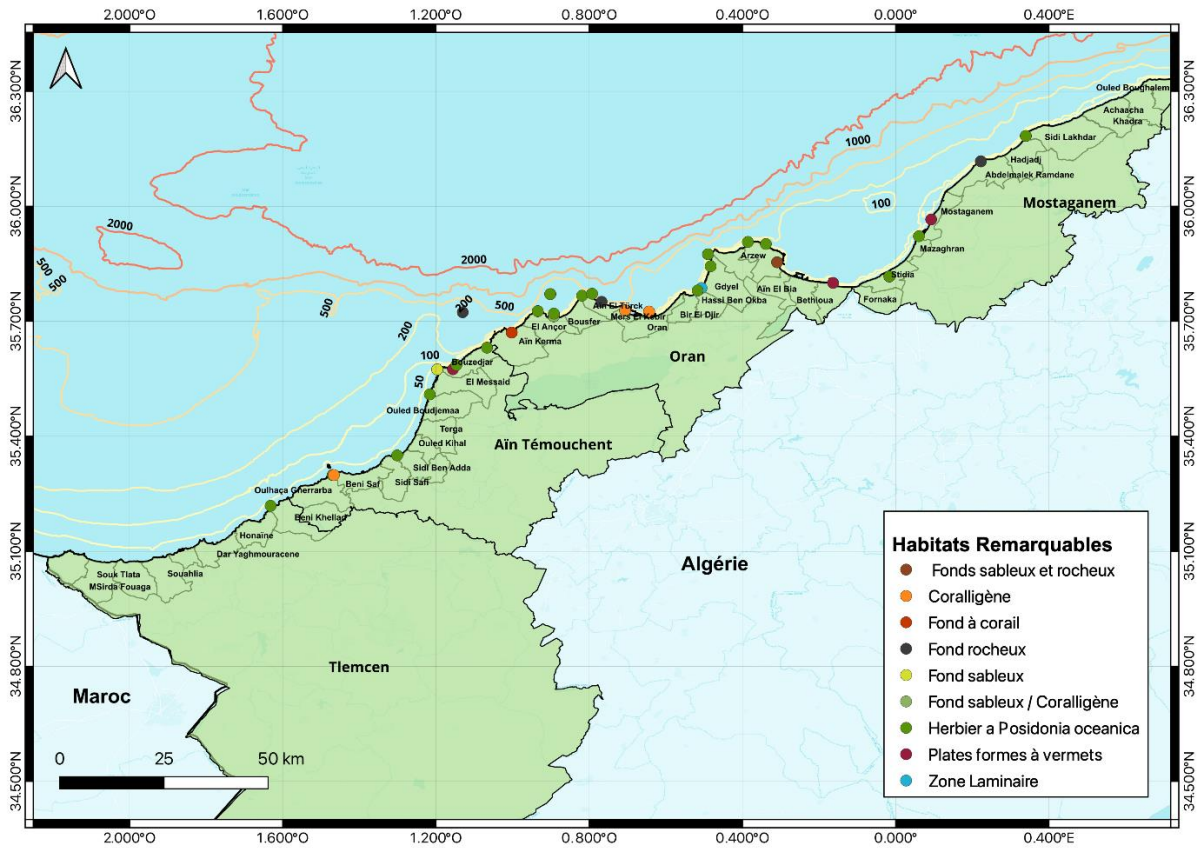


Figure 5 : Carte de répartition des habitats remarquables de la côte ouest algérienne. (Réalisée par Moussaoui. N)

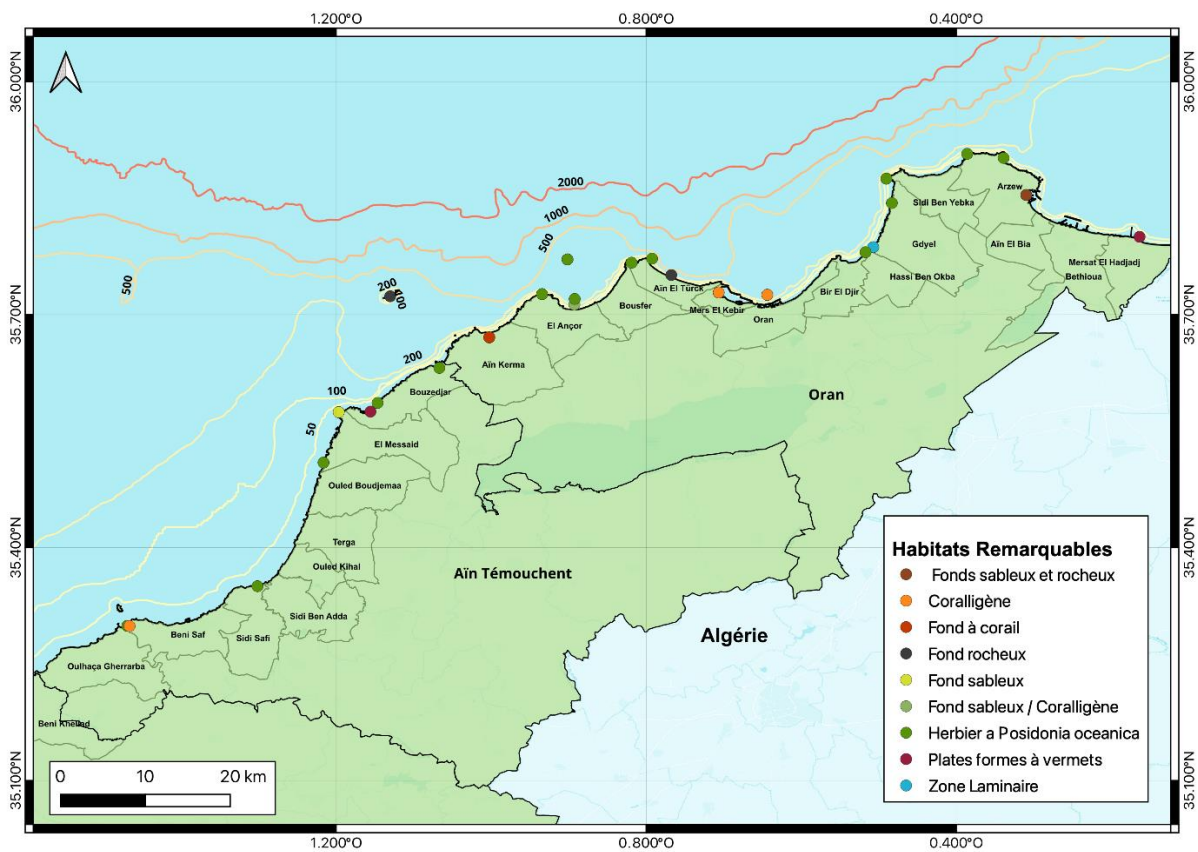


Figure 6 : Carte de la répartition des habitats remarquables (Aïn Témouchent-Oran) (Réalisée par Moussaoui. N)

c. Résultats de la structure anthropique

La présente étude qui est une collecte de données bibliographiques a permis d'identifier 26 sites pollués le long de la côte ouest algérienne, entre les wilayas de Mostaganem et Tlemcen. Ces sites sont principalement localisés à proximité des zones portuaires, embouchures d'oueds, zones industrielles et centres urbains côtiers. Les types de pollution les plus fréquemment observés sont de nature organique, chimique (notamment présence de métaux lourds), et plastique. Parmi les éléments polluants recensés, les plus récurrents sont les hydrocarbures, nitrates, phosphates et macro-déchets flottants ou échoués. La wilaya d'Oran présente la plus forte densité de sites impactés, notamment autour de Mers El Hadjadj et du port d'Arzew, avec plusieurs sources de pollution cumulées (rejets domestiques, effluents industriels, trafic maritime). La majorité des impacts relevés concernent la dégradation des habitats côtiers, la réduction de la biodiversité, et des signes de contamination des sédiments. Les figures ci-dessous représentent respectivement une partie de la base de données et la carte de répartition de ces sites pollués :

E	F	G
Types de pollution	Éléments polluants	Sources de pollution
Pollution industrielle et métallique	Cd, Pb, Zn, Cr, Cu	Ports, industries chimiques, effluents urbains
Pollution organique et plastique	Microplastiques, coliformes fécaux	Rejets domestiques et agricoles
Pollution métallique et plastique	Métaux lourds, plastiques	Déversements industriels et urbains
Pollution saline	Chlorures, salinité, conductivité	Usine de dessalement
Pollution plastique et organique	Déchets plastiques, hydrocarbures	Tourisme, absence de gestion des déchets
Pollution organique et chimique	Nitrates, phosphates, plastiques	Urbanisation, effluents agricoles
Pollution pétrochimique	Hydrocarbures, Zn, Cu, Pb	Raffineries, trafic maritime
Pollution métallique et plastique	Métaux lourds, microplastiques	Activités portuaires, industrie
Pollution urbaine et industrielle	Déchets chimiques, MO, hydrocarbures	Rejets industriels et urbains
Pollution plastique et pétrochimique	Hydrocarbures, plastiques	Activités portuaires, pêche
Pollution industrielle et pétrochimique	Hydrocarbures, métaux lourds	Raffineries, industries portuaires
Pollution organique et chimique	Déchets plastiques, nitrates	Rejets industriels et agricoles et urbain non traité
Pollution plastique et organique	Microplastiques, MO	Tourisme, déchets urbains
Pollution organique et industrielle Station de dessalement	Déchets chimiques, hydrocarbures	Effluents industriels et agricoles,
Pollution par les rejets de dessalement	Saumure (haute salinité), métaux lourds	Rejets directs des stations de dessalement
Pollution métallique et plastique	Métaux lourds, plastiques	Industries chimiques, urbanisation
Pollution métallique et organique	Nutriments, métaux lourds	Rejets agricoles et industriels
Pollution plastique et organique	Microplastiques, déchets chimiques	Effluents urbains, absence de traitement des e

Figure 7 : Image de la base de données de la structure anthropique

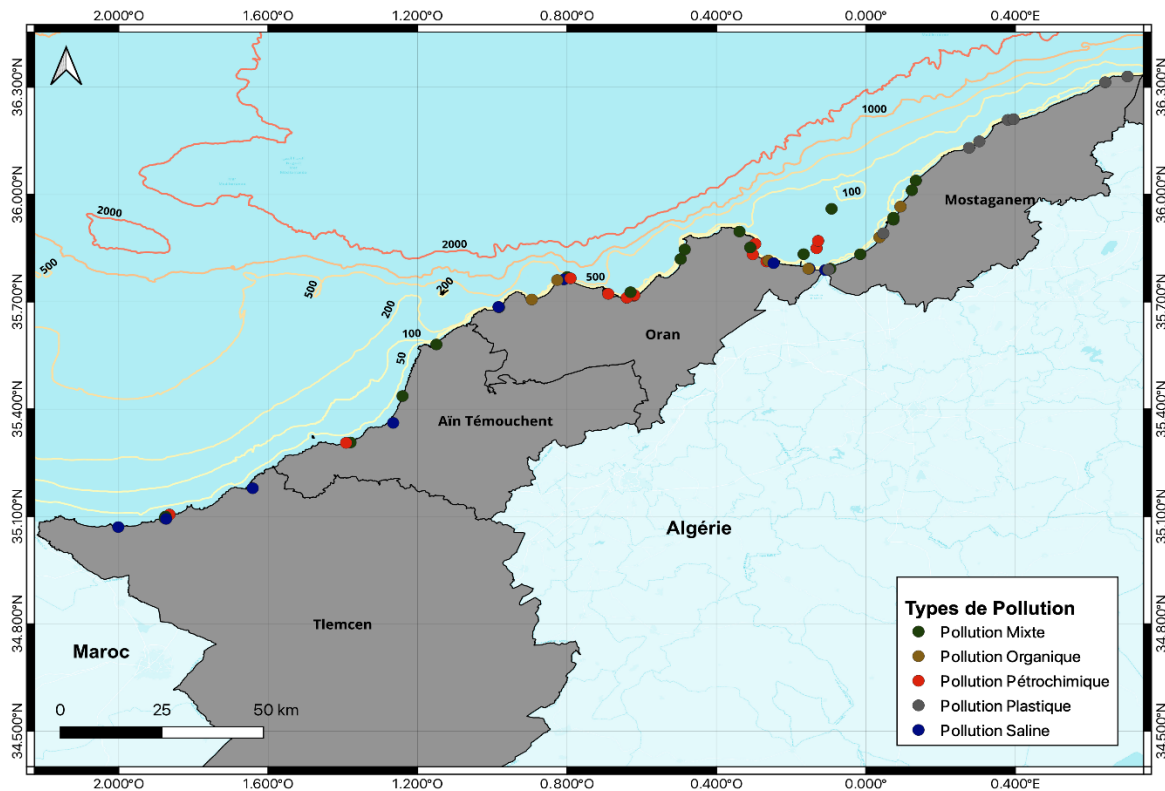


Figure 8 : Carte de répartition des sites pollués de la côte ouest algérienne. (Réalisée par Moussaoui. N)

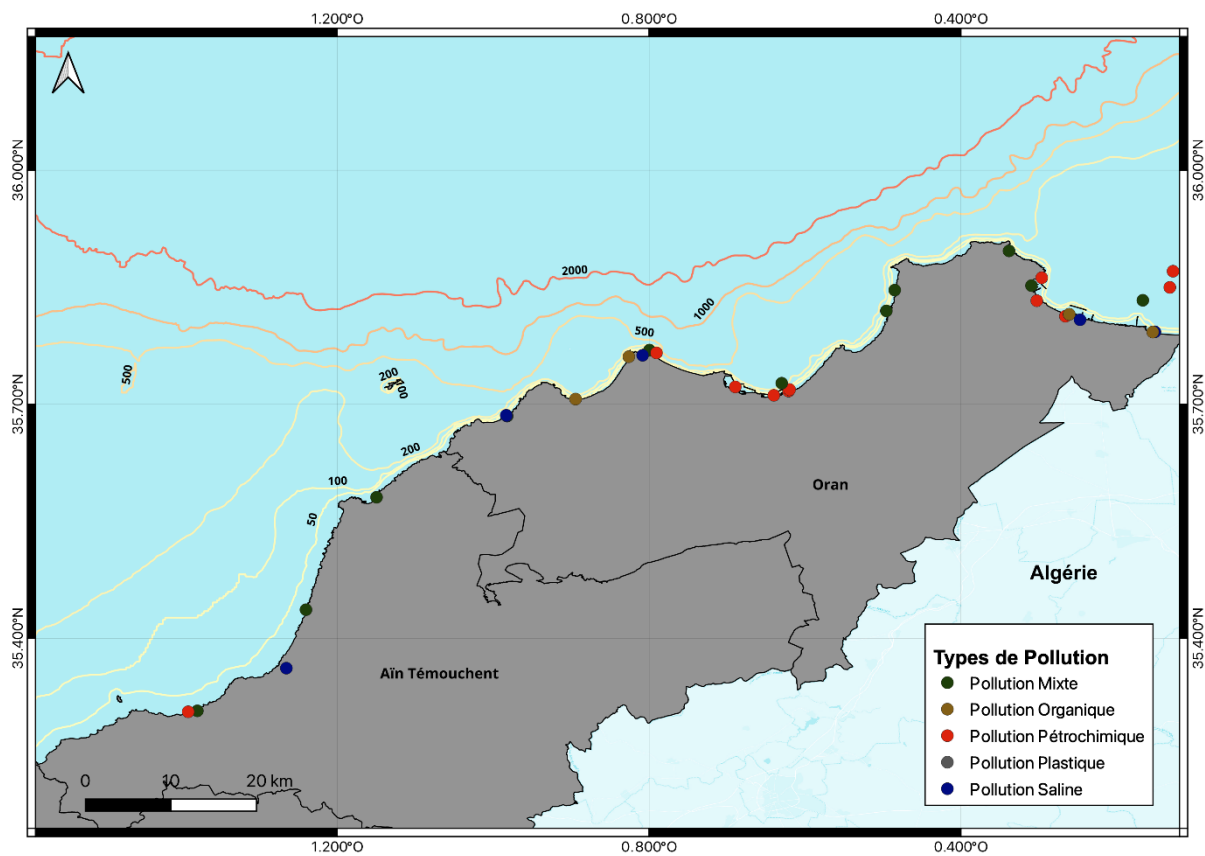


Figure 9 : Carte de la répartition des sites pollués (Aïn Témouchent -Oran) (Réalisée par Moussaoui. N)

2.4. Conclusion du chapitre 2

La structuration des bases de données constitue une étape clé de cette étude, permettant d'organiser, standardiser et valoriser l'ensemble des informations collectées sur la côte ouest algérienne. Trois bases distinctes ont été élaborées, respectivement consacrées aux habitats remarquables, aux sites pollués, et à la biodiversité marine autour de l'île de Rachgoun. Chacune de ces structures repose sur un ensemble d'attributs spécifiques, conçus pour répondre aux exigences d'analyse écosystémique, spatiale et taxinomique. Les résultats issus de cette structuration permettent de visualiser de manière cohérente la répartition des habitats, d'identifier les zones sous pression anthropique, et de dresser un état des lieux de la diversité biologique insulaire. Ils offrent ainsi une base solide pour l'interprétation scientifique, le croisement d'informations, et l'élaboration d'indicateurs de vulnérabilité ou de conservation.

Chapitre 3

Diagnostic d'un site pilote
« L'île de Rachgoun »

3. Diagnostique d'un site pilote

L'île de Rachgoun, située au large de la côte ouest algérienne dans la wilaya d'Aïn Témouchent, se dresse telle une sentinelle naturelle au cœur de la Méditerranée, abritant un écosystème marin d'une richesse écologique remarquable. Ce territoire insulaire, choisi comme site pilote de notre étude, s'impose comme bien plus qu'un simple objet de recherche : il constitue un point névralgique pour l'observation des dynamiques environnementales et anthropiques en zone côtière. Le présent chapitre s'attache à explorer les différentes dimensions de cette île stratégique, en amorçant par une présentation détaillée de sa géographie, de sa morphologie et de ses caractéristiques bathymétriques, grâce à l'appui de cartes et de relevés de terrain. Cette première étape permettra de poser les fondements d'une analyse rigoureuse et intégrée de son état écologique. Nous poursuivrons par une évaluation des pressions humaines susceptibles d'influencer cet équilibre insulaire, notamment les activités littorales, les flux de pollution et les usages halieutiques environnants. Une méthodologie systématique sera ensuite mise en œuvre, alliant zonage spatial, mesures physico-chimiques, analyses des sédiments, recensement de la biodiversité et caractérisation des habitats associés. Ce travail de diagnostic vise à dresser un portrait complet et actuel de l'état de l'île de Rachgoun, en croisant les dimensions biologiques, physiques et anthropiques, et en fournissant les bases scientifiques nécessaires à une gestion durable de ce microcosme marin.

3.1. Présentation de la zone d'étude

3.1.1. Description de l'île de Rachgoun

L'île de Rachgoun également connue sous le nom de Leïla, est située au nord-ouest du bassin algérien, dans la wilaya de Aïn Témouchent. Elle se trouve à environ 3 km au large de la côte, à proximité du cap Acra, entre les coordonnées 35°19'03''N, 1°28'57''W et 35°19'35''N, 1°28'30''W. Cette île couvre une superficie de 27,08 hectares et culmine à une altitude maximale de 68 mètres. Elle est principalement constituée de roches volcaniques, à l'instar de l'ensemble de la région de Tafna, et présente une sédimentologie dominée par des sables fins à moyens. Les fonds marins autour de l'île sont relativement peu profonds au sud et au sud-est, avant de s'abaisser de manière abrupte au-delà de 10 mètres de profondeur (Bouamar, 2024). Du point de vue terrestre, l'île de Rachgoun héberge une faune caractéristique du littoral méditerranéen, notamment le goéland leucophée (*Larus michahellis*), ainsi que des petits mammifères comme le rat noir (*Rattus rattus*) (Moulaï et al., 2015). Sur le plan botanique, 55 espèces de plantes vasculaires y ont été recensées, parmi lesquelles on retrouve *Agave americana* et *Geranium molle* (Véla, 2017). L'environnement marin autour de l'île se distingue par une richesse floristique notable, avec des espèces telles que *Posidonia oceanica*, *Codium bursa* et *Ulva rigida*, qui forment des habitats structurants pour la biodiversité benthique. Cette richesse est complétée par la présence de nombreux taxons animaux marins, notamment des mollusques, polychètes et échinodermes, représentés respectivement par *Mytilus galloprovincialis*, *Lumbrineris gracilis* et *Asterina gibbosa* (Grimes et al., 2004 ; Bouras et al., 2013). Les activités humaines dans la zone incluent la pêche artisanale, le tourisme côtier, la plongée sous-marine ainsi que le camping estival. Cette fréquentation soutenue génère des pressions notables sur l'écosystème, notamment en termes de pollution par déchets solides et de perturbation des habitats sensibles.

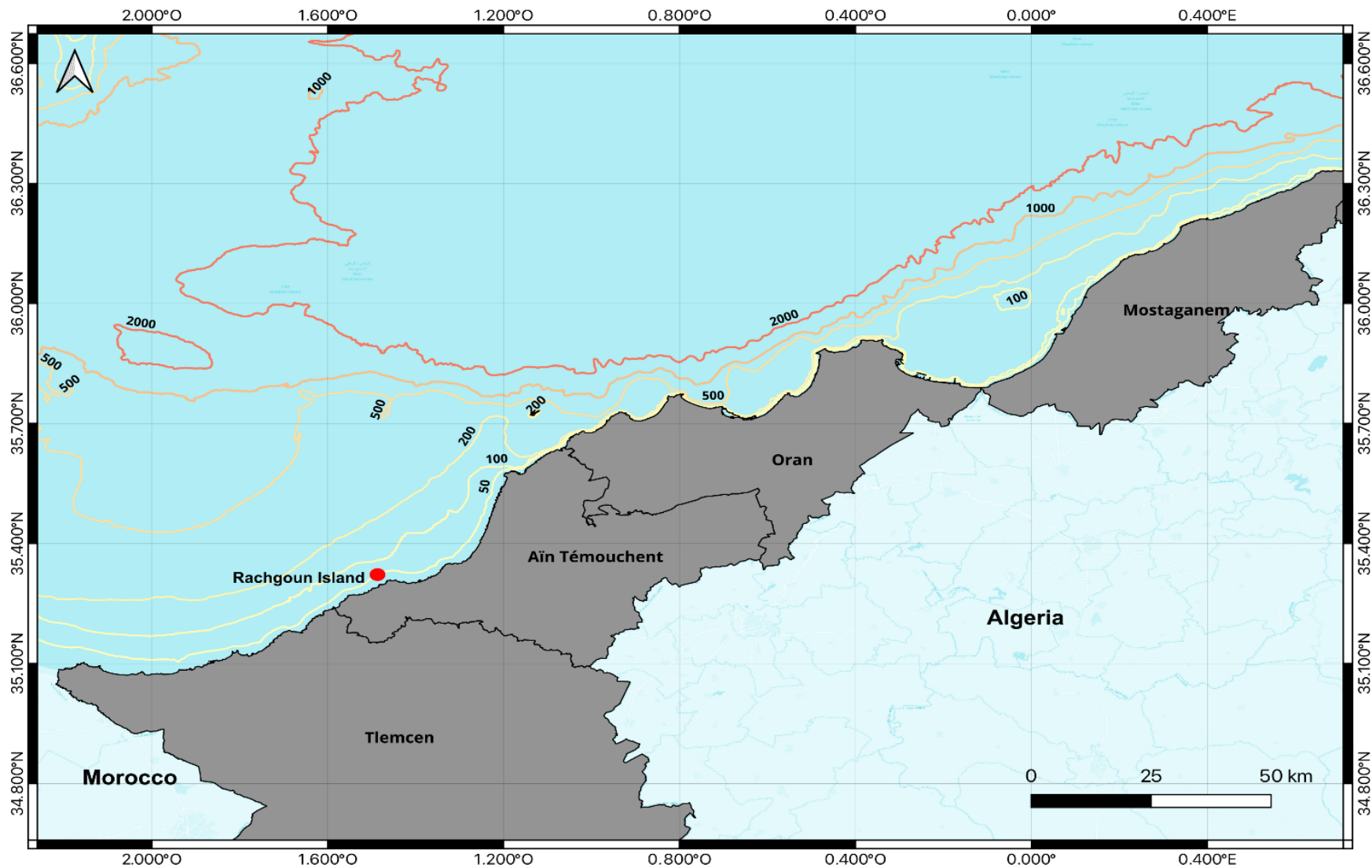


Figure 10 : Carte représentant la zone d'étude (Réalisée par Moussaoui. N)

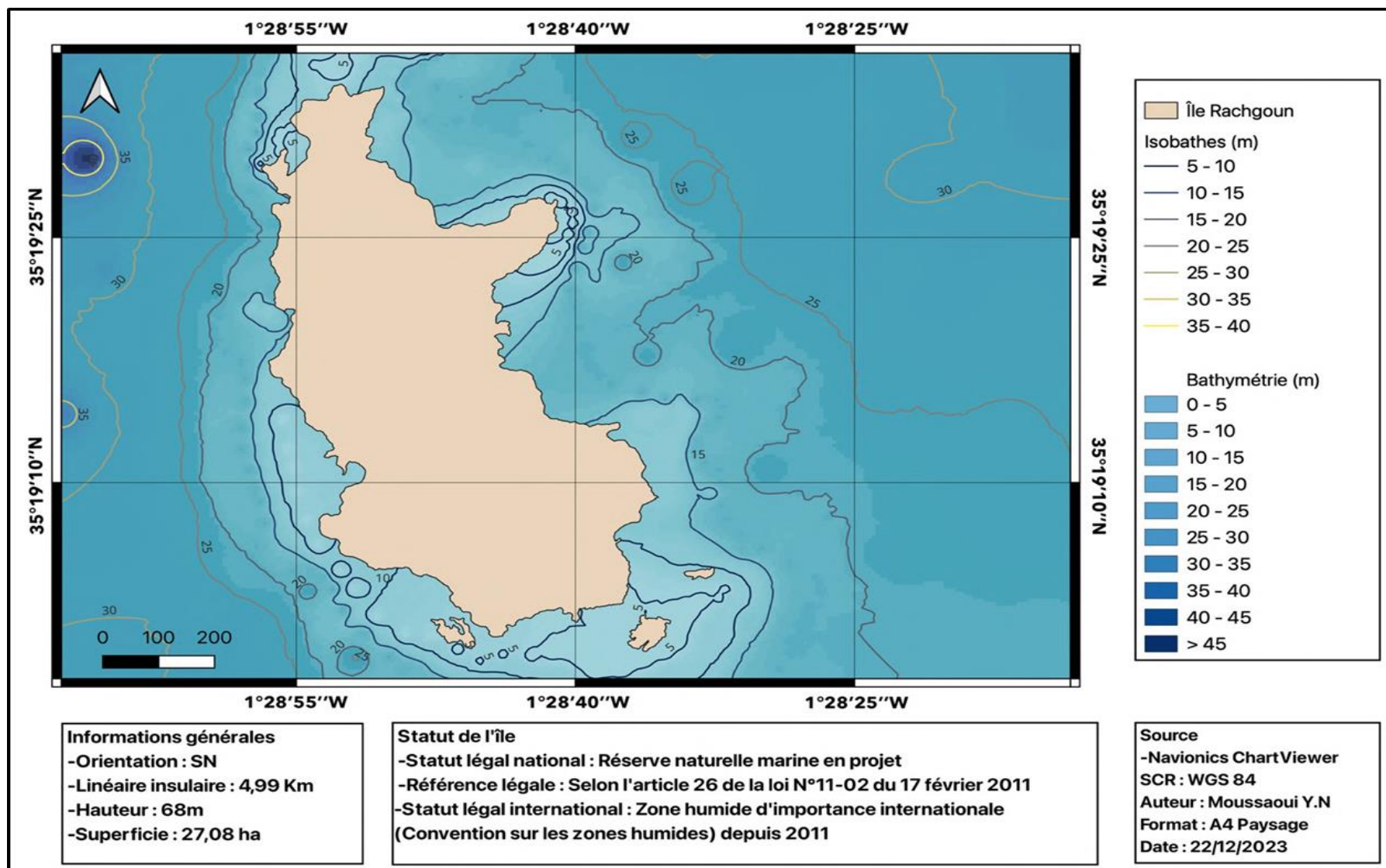


Figure 11 : Carte bathymétrique de l'île de Rachgoun- Ain Témouchent (Moussaoui, 2024)

3.1.2. État de l'art sur les travaux réalisés

L'état de l'art met en évidence un corpus encore limité mais croissant de recherches portant spécifiquement sur l'île de Rachgoun. Si quelques études isolées ont permis d'aborder sa biodiversité, sa flore vasculaire et ses caractéristiques sédimentologiques, peu d'investigations globales y ont été consacrées. La majorité des travaux existants s'intéressent à des groupes biologiques particuliers ou à des aspects ponctuels de l'écosystème. Par ailleurs, plusieurs observations sont issues de recherches régionales plus larges intégrant l'île de manière périphérique. Cela souligne l'intérêt et la nécessité d'une approche intégrée centrée sur Rachgoun.

Table 6 : Récapitulatif des travaux réalisés autour de la région de Rachgoun

Auteurs	Étude	Localisation	Descriptif de l'étude
Bouamar, B. (2024)	État écologique et bathymétrie autour de l'île de Rachgoun	Secteur sud-est de l'île	Analyse de la topographie sous-marine et de la sédimentologie. Profondeurs faibles au sud-est puis pente abrupte au-delà de 10 m.
Moulaï, R., et al., (2015)	Structure de la faune terrestre de l'île de Rachgoun	Île de Rachgoun	Inventaire de la faune terrestre incluant goélands et rongeurs (<i>Larus michahellis</i> , <i>Rattus rattus</i>).
Véla, E. (2017)	Flore vasculaire des îles côtières algériennes	Île de Rachgoun	Recensement de 55 espèces végétales vasculaires, dont <i>Agave americana</i> et <i>Geranium molle</i> .
Bouras, D., et al., (2013)	Mollusques et échinodermes autour de Rachgoun	Environnement marin immédiat	Étude de la distribution spatiale de <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Patella gigantea</i> , <i>Lumbrineris gracilis</i> .
Grimes, S., et al., (2004)	Communautés benthiques marines	Zone marine de Rachgoun	Analyse écologique des communautés benthiques associées aux herbiers.
Benallal, M., et al., (2023)	État écologique des herbiers de <i>Posidonia oceanica</i>	Herbiers de Rachgoun	Évaluation écologique à travers des indicateurs de densité et de qualité des herbiers marins.
Yahia Meddah, A., et al. (2023)	Indice de vulnérabilité côtière (CVI)	Zone insulaire ouest	Application du Coastal Vulnerability Index à l'île de Rachgoun pour en évaluer la sensibilité écologique.
Bentaallah, S., et al., (2022)	Cartographie des habitats benthiques	Rachgoun et zones adjacentes	Utilisation de SIG et données bathymétriques pour classer les habitats benthiques.
Kerfouf, A., et al., (2020)	Inventaire de la biodiversité marine	Autour de l'île de Rachgoun	Recensement de la biodiversité marine (faune, flore) et étude des pressions anthropiques.
Chahrour, N., et al., (2019)	Évaluation écologique des herbiers	Zone marine de Rachgoun	Analyse de biomasse, densité, et couverture des herbiers de <i>Posidonia oceanica</i> .
Esplá, A et al., (2017)	Guide technique – Îles sentinelles méditerranéennes	Île de Rachgoun, Algérie	Travail de terrain intégré au programme PIM (Petites Îles de Méditerranée). L'étude analyse en détail la biodiversité terrestre et marine, les usages humains, et les enjeux de conservation pour l'intégration de l'île de Rachgoun comme île sentinelle méditerranéenne.
Boudjellal-Kaidi, N. (2003)	émoire d'ingénieur d'état en océanographie (écologie marine)	Île de Rachgoun, Algérie (Sud-ouest Méditerranée)	Étude de la faune carcinologique des fonds meubles de l'île Rachgoun

3.2. Activités socio-économiques et impacts potentiels – Île de Rachgoun

Située au large de la commune de Béni Saf dans la wilaya d'Aïn Témouchent, l'île de Rachgoun se trouve dans une zone littorale soumise à diverses activités socio-économiques, notamment la pêche artisanale, le tourisme estival et la plongée sous-marine. Bien que l'île ne soit pas habitée, sa proximité avec les zones urbanisées et industrielles de Béni Saf et Aïn Témouchent en fait un espace vulnérable aux pressions anthropiques croissantes, en particulier durant la saison estivale (Bouamar, 2024 ; Yahia Meddah et al., 2023).

3.2.1. Rejets d'eaux usées

La région côtière environnante est exposée à des rejets d'eaux usées domestiques issus des zones urbaines adjacentes, notamment Béni Saf et Rachgoun-plage. Ces effluents, souvent déversés sans traitement adéquat, contribuent à la pollution des eaux littorales et peuvent altérer les herbiers de *Posidonia oceanica* présents autour de l'île (Benallal et al., 2023 ; Bentaallah et al., 2022).

3.2.2. Hydrographie

La zone est partiellement influencée par l'apport des oueds Tafna et Senane. Ces cours d'eau, traversant des zones agricoles et industrielles, charrient des éléments polluants tels que les nutriments agricoles, les métaux lourds et les déchets solides jusqu'en mer (Bouamar, 2024 ; Kerfouf et al., 2020). L'absence d'infrastructures de régulation hydraulique efficaces intensifie l'impact de ces apports lors des crues saisonnières.

3.2.3. Tourisme et fréquentation

En période estivale, les plages de Béni Saf et Rachgoun-plage attirent de nombreux visiteurs. Le camping sauvage sur le littoral, la baignade non encadrée et la navigation de plaisance engendrent une forte fréquentation humaine dans les environs de l'île, aggravant les rejets de déchets solides et perturbant l'avifaune nicheuse, telle que *Larus michahellis* (Moulaï et al., 2015 ; Véla, 2017).

3.2.4. Pêche artisanale

La pêche artisanale est une activité ancrée dans les traditions locales de Béni Saf. Elle est pratiquée à proximité de l'île, en particulier par des petits métiers utilisant des filets maillants, des palangres ou des lignes. Bien qu'elle constitue une source de revenu importante, cette activité peut exercer une pression sur certaines espèces sensibles et engendrer une dégradation des fonds marins en cas de pratiques non durables (Grimes et al., 2004 ; Bouras et al., 2013).

3.2.5. Plongée sous-marine

La richesse des fonds marins autour de l'île de Rachgoun, notamment ses herbiers et formations rocheuses, attire des clubs de plongée de la région d'Oran et de Béni Saf. Si cette activité présente un potentiel écotouristique important, elle peut également générer des perturbations physiques sur les habitats benthiques lorsqu'elle n'est pas strictement encadrée (Chahrour et al., 2019 ; Benallal et al., 2023)

3.3. Méthodologie

3.3.1. Stratégie d'échantillonnage

Au cours du mois d'avril 2025, des opérations de prélèvement ont été conduites dans le cadre d'une étude environnementale. Elles ont permis de collecter des échantillons d'eau et de sédiments sur plusieurs stations, choisies en fonction de leur position géographique, telle que présentée sur la carte suivante. En complément de ces relevés, des enquêtes par questionnaires ont été menées auprès des acteurs locaux. Celles-ci visaient à caractériser le degré d'intensité des diverses activités humaines dans la zone, telles que la pêche à la ligne, les petits métiers, la pêche au chalut, la sardine, la plongée sous-marine, le tourisme, les usages portuaires et le transport maritime.

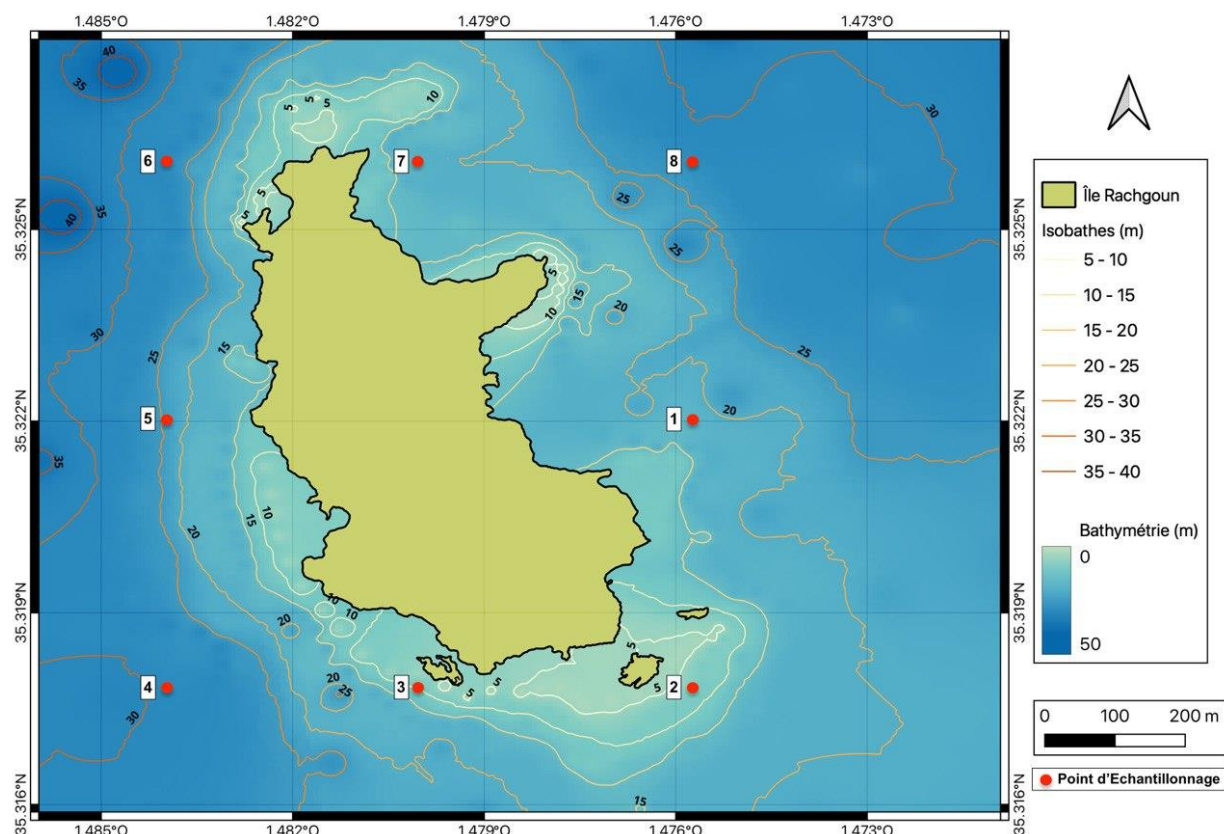


Figure 12 : carte représentant les sites d'échantillonnages autour de l'île de Rachgoun (Réalisée par Moussaoui. N)

Table 7 : Coordonnées géographiques des stations de prélèvement

Numéro de station	Coordonnées	
	X	Y
1	1° 28' 33.60" W	35° 19' 19.20" N
2	1° 28' 33.60" W	35° 19' 4.80" N
3	1° 28' 48.00" W	35° 19' 4.80" N
4	1° 29' 6.00" W	35° 19' 4.80" N
5	1° 29' 6.00" W	35° 19' 19.20" N
6	1° 29' 6.00" W	35° 19' 30.00" N
7	1° 28' 48.00" W	35° 19' 30.00" N
8	1° 28' 33.60" W	35° 19' 30.00" N

- **Paramètres environnementaux**

La campagne d'échantillonnage a été conduite le 9 avril 2024, autour de l'île, avec le prélèvement de sédiments sur 2 stations et d'eau de mer sur 8 stations. Ces échantillons ont permis l'analyse de divers paramètres tels que les nutriments, les matières en suspension, la matière organique, les métaux lourds, ainsi que les paramètres physico-chimiques de base (température, salinité, pH), dans le but d'approfondir la connaissance des conditions environnementales locales. Le matériel nécessaire a été rigoureusement préparé en amont, suivant un protocole strict : les flacons ont été nettoyés successivement à l'eau du robinet, à l'acide chlorhydrique à 10 %, puis à l'eau distillée, avant d'être soigneusement séchés et étiquetés. Les prélèvements d'eau de mer, destinés à l'analyse des paramètres physico-chimiques (température, salinité, pH, matière en suspension, sels nutritifs), ont été effectués à l'aide de ces flacons. La sortie de terrain s'est déroulée dans des conditions globalement favorables, malgré un ciel couvert et une atmosphère légèrement fraîche. Concernant les sédiments, une benne preneuse de type Van Veen a été utilisée pour les prélèvements aux stations 9 et 10, situées entre la plage de Madrid et l'île de Rachgoun, en vue de l'analyse des métaux lourds et de la matière organique. L'échantillonnage des sédiments dans les autres stations n'a pas pu être réalisé, car il aurait nécessité une embarcation équipée d'une benne de plus grande capacité que celle dont dispose actuellement l'ENSSMAL. Les sédiments collectés ont été transférés à l'aide d'une spatule en bois dans des sacs plastiques.

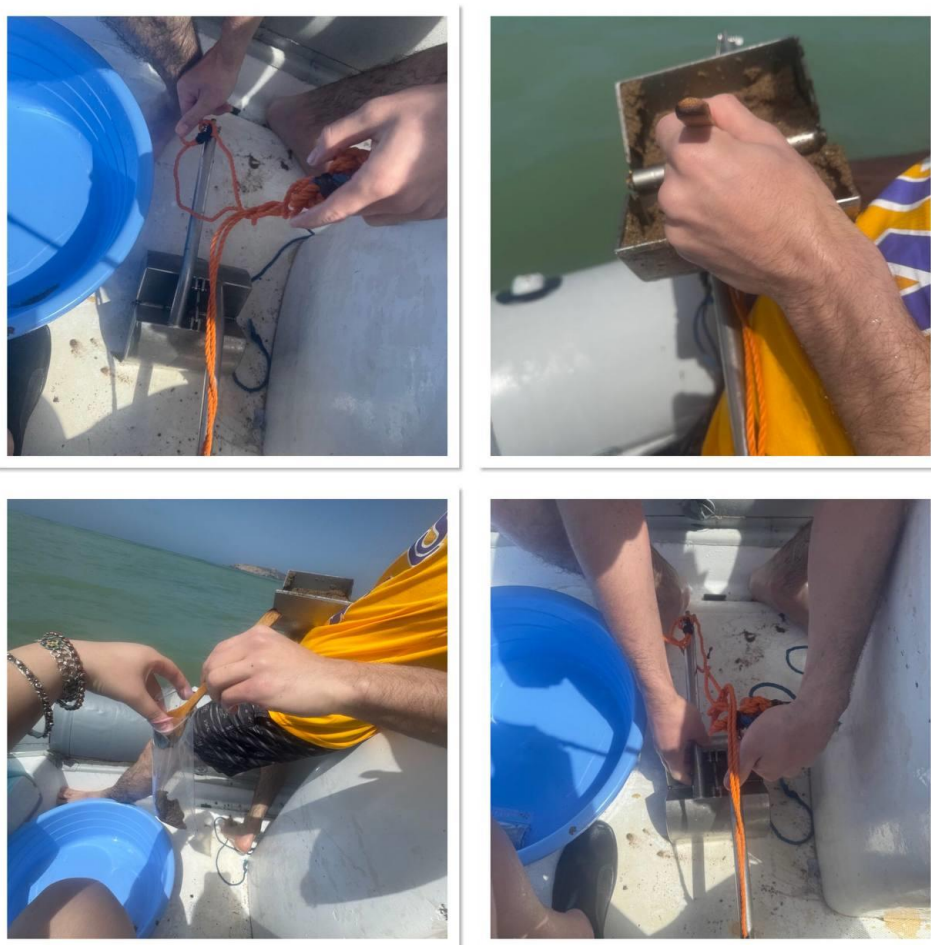


Figure 13 : Échantillonnage des sédiments a la benne Van Veen

- **Mesure des paramètres environnementaux :**

- a) **Paramètres de base**

La température, la salinité et le pH ont été mesurés directement sur le terrain à l'aide d'un multi paramètre portable de type WTW. L'appareil a été préalablement calibré conformément aux recommandations du fabricant afin d'assurer la fiabilité des données. Les mesures ont été prises en surface depuis une embarcation légère, dans des conditions météorologiques légèrement voilées. Ce protocole a permis une acquisition rapide et simultanée de plusieurs paramètres physico-chimiques essentiels à la caractérisation du milieu marin. L'ensemble des données a été enregistré et sauvegardé pour une analyse ultérieure.

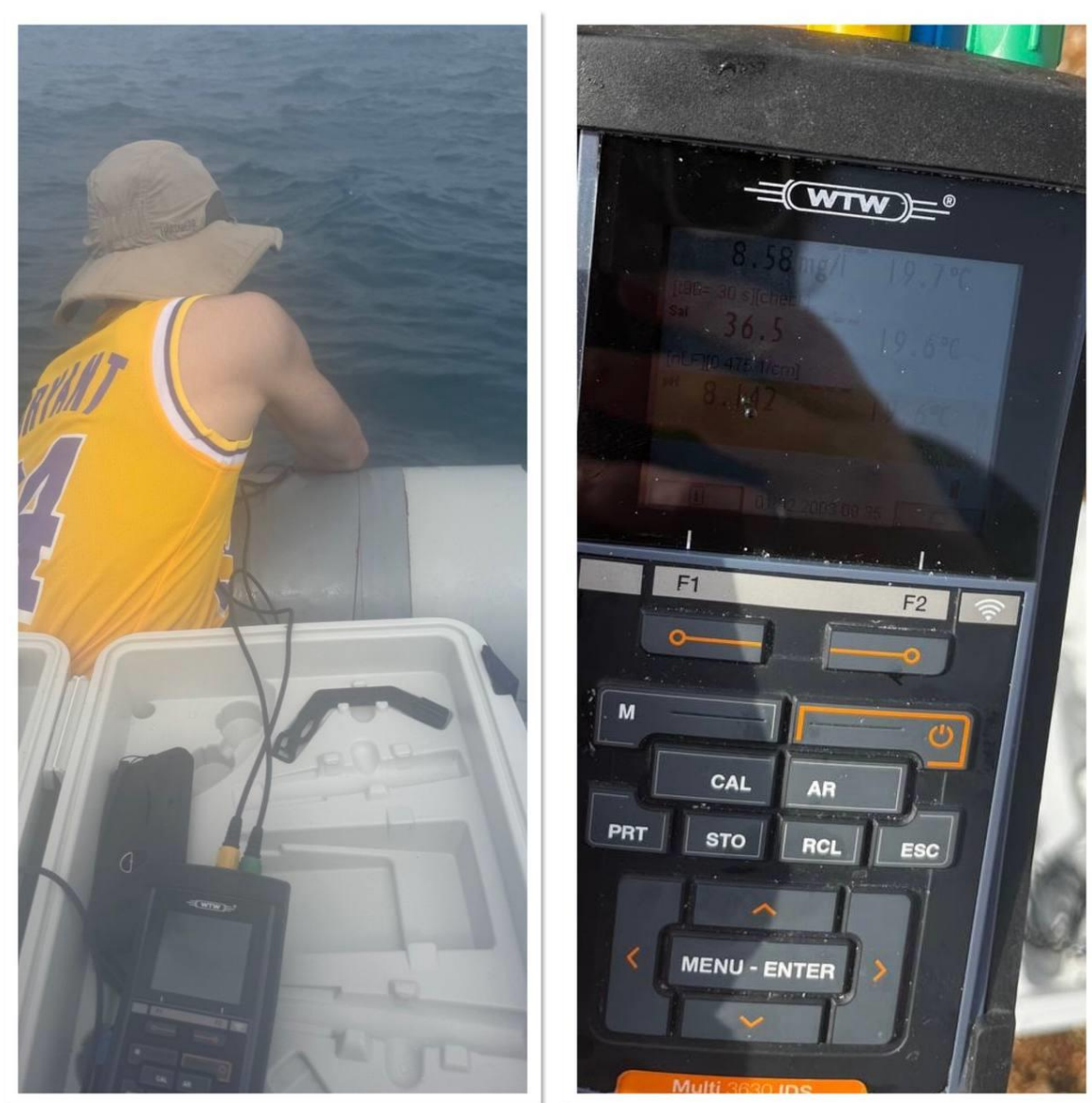


Figure 14 : Mesure des paramètres de bases in situ

b) Matière en suspension

L'analyse de la matière en suspension a été faite en suivi une méthode rigoureuse. Des filtres numérotés ont été placés dans des boîtes de Pétri et séchés dans un dessiccateur. Chaque filtre vierge a été pesé avec précision à l'aide d'une balance de type Mettler. L'eau de mer a été filtrée à travers ces filtres installés dans des entonnoirs adaptés. Après filtration, les filtres humides ont été replacés dans leurs boîtes, puis séchés à 50 °C pendant 24 heures. Le filtre sec final a ensuite été repesé, et la différence de masse a permis de calculer la concentration en matières en suspension.



Figure 15 : Mesure de la matière en suspension



Figure 16 : Pesée et calcul de la matière en suspension après 24h

c) Matière organique et métaux lourds

L'évaluation de ces deux paramètres a été réalisée à partir de sédiments prélevés sur les deux stations mentionnées. Avant analyse, les échantillons ont été congelés puis lyophilisés (appareil Beta 1-8 – Martin Christ) pendant 48 heures, à -55 °C sous vide (0,1 bar), afin de garantir une déshydratation complète.

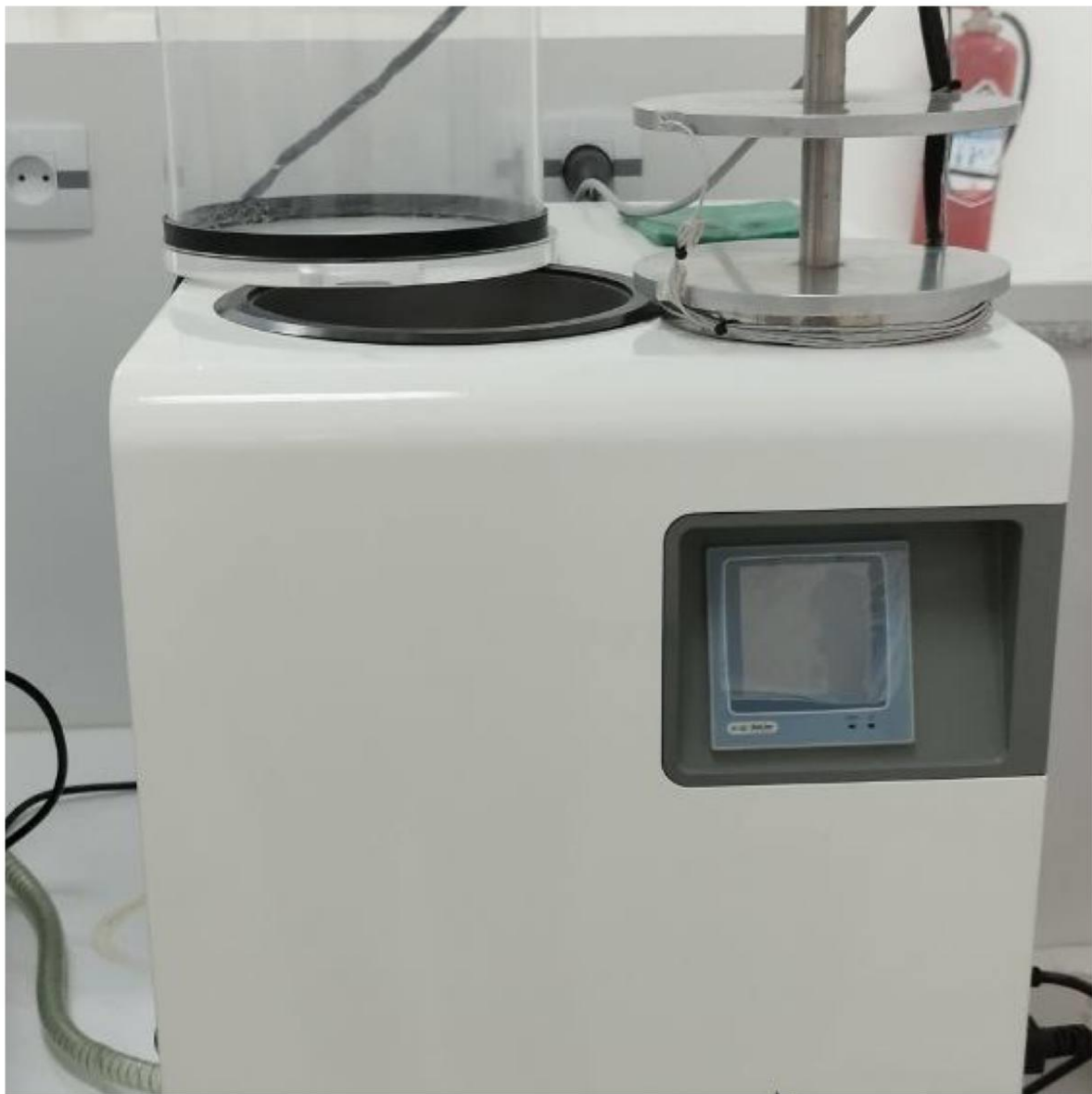


Figure 17 : Lyophilisateur utilisé

- **Matière organique**

Après lyophilisation, les sédiments sont placés dans une étuve durant 24 heures pour éliminer toute humidité résiduelle. Des creusets en porcelaine, identifiés par station, sont pesés à vide, puis remplis d'environ 30 à 35 % de sédiments secs, avant d'être repesés. Les échantillons sont ensuite incinérés dans un four à moufle WiseTherm 23 à 600 °C pendant deux heures. Après refroidissement, les creusets sont pesés une dernière fois. La différence entre le poids avant et après incinération permet de déterminer le taux de matière organique (%).



Figure 18 : Mesure de la matière organique

- **Métaux lourds**

Les sédiments secs sont finement broyés à l'aide d'un mortier en porcelaine, puis tamisés à 63 μm , afin d'isoler la fraction la plus fine, représentative des métaux lourds. Tout le matériel est soigneusement nettoyé après chaque utilisation (détergent, rinçage à l'eau distillée, séchage) pour éviter les contaminations croisées. Avant minéralisation, un test à blanc est effectué : les godets en téflon sont traités à l'acide nitrique pur (5 mL) et chauffés à 120 °C durant 2 h 30 min, puis rincés. Pour la minéralisation, environ 0,5 g de sédiment est placé dans chaque godet, avec de l'eau régale (1 vol. HNO_3 à 69 % pour 3 vol. HCl à 37 %). Les godets sont fermés hermétiquement et laissés à température ambiante toute une nuit, avant chauffage à 120 °C durant 2 h 30. Les solutions obtenues sont transférées dans des tubes en polypropylène de 50 mL, complétés par les eaux de rinçage des godets. Les échantillons sont conservés à +4 °C jusqu'à l'analyse. Un échantillon témoin (blanc) suit le même processus pour détecter toute contamination potentielle. Cette procédure s'appuie sur les standards de l'AIEA (1998).



Figure 19 : Pesée et minéralisation des sédiments

d) Sels nutritifs

Les concentrations en nitrites, nitrates, ortho phosphates et silicates ont été mesurées par une méthode colorimétrique automatisée, basée sur des réactions chimiques spécifiques produisant une coloration proportionnelle à la concentration du nutriment. L'analyse a été effectuée à l'aide de l'Auto-Analyzer SAN PLUS, selon la méthode de Skalar (1998). Des solutions standards ont été préparées pour l'étalonnage. Les échantillons et standards ont été introduits dans le système en flux continu. Le logiciel de l'appareil a permis l'établissement automatique des courbes d'étalonnage, à partir desquelles les concentrations des nutriments ont été déduites avec précision.

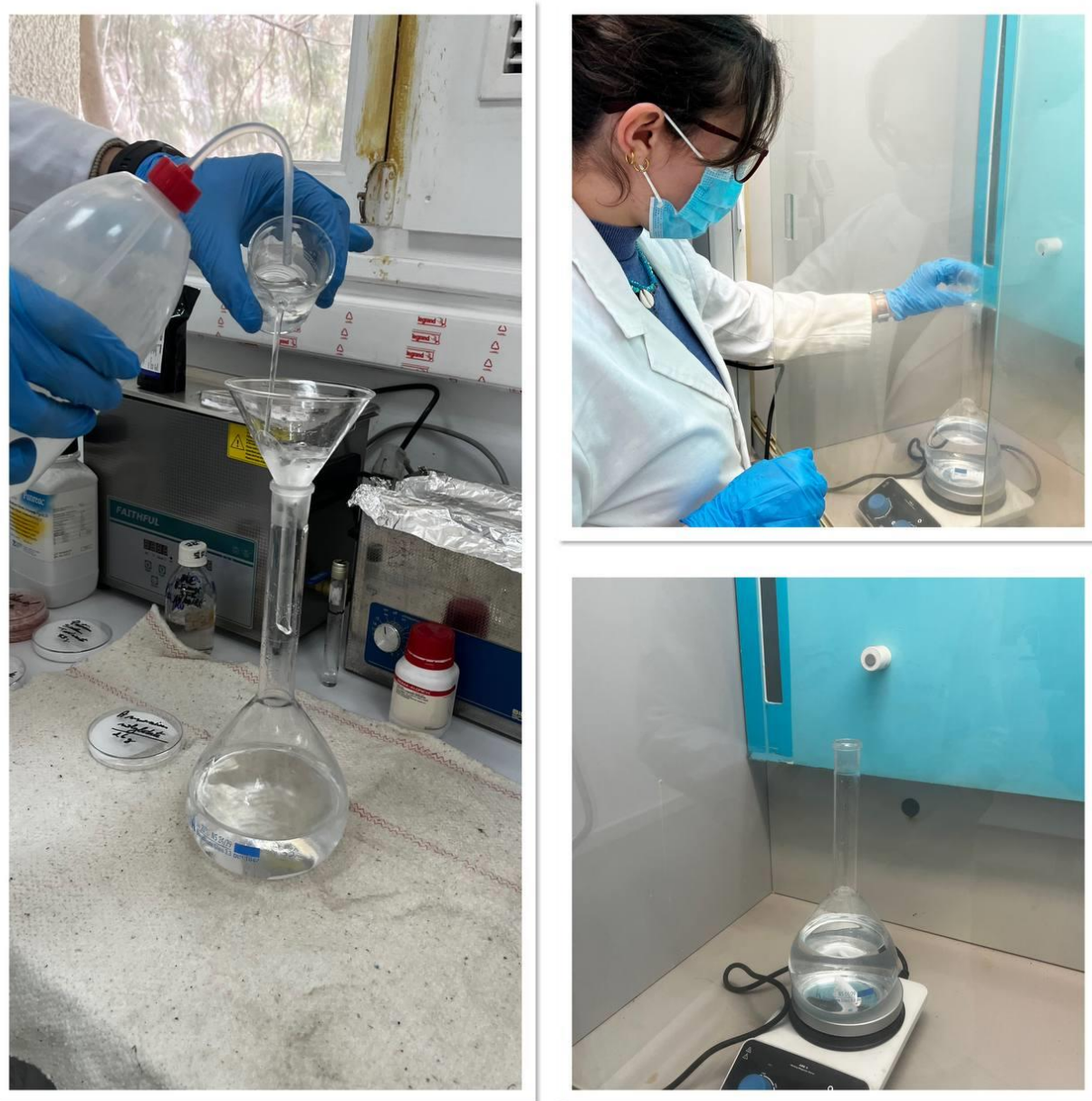


Figure 20 : Préparation des réactifs pour l'analyse des sels nutritifs

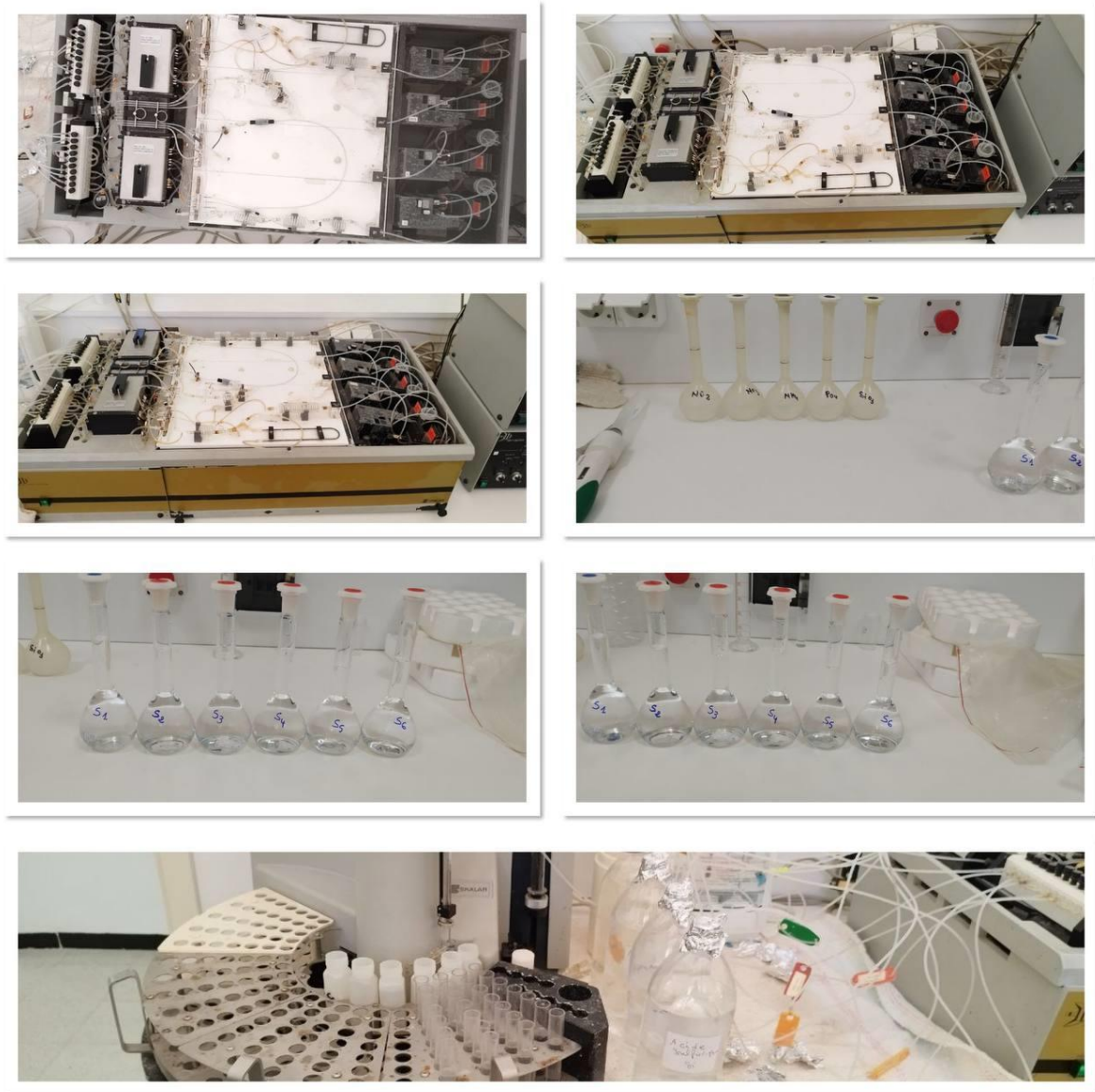


Figure 21 : Analyse des sels nutritifs

3.3.2. Biodiversité et habitats du site

- **Tri et identification du macrobenthos**

Les opérations de tri et d'identification des organismes benthiques ont été réalisées au sein du laboratoire BANBIOM, à partir d'un échantillonnage réalisé par une doctorante (Gasmi, M) au cours du mois de juillet 2024 aux alentours de la station 8. Ils étaient contenus dans des bocaux et conservé au formol dilué a 10%, ont d'abord été soigneusement rincés à l'aide d'un jet d'eau à travers un tamis de 1 mm de maille afin d'éliminer les particules de sédiment. Le résidu recueilli sur le tamis a ensuite été transféré dans un bac à fond blanc, avec un léger ajout d'eau, facilitant ainsi l'observation visuelle des organismes présents. À l'aide de pinces, les individus ont été triés manuellement et classés selon leur embranchement taxonomique (Mollusques, Crustacés, Polychètes, et autres groupes divers), puis placés dans des piluliers en verre contenant du formol dilué à 10 % (remplis au quart). Pour l'identification taxonomique, chaque échantillon a été transféré dans une boîte de Pétri. Les organismes ont été examinés avec précision à l'aide d'une loupe binoculaire. L'identification des espèces s'est appuyée sur des ouvrages de référence en systématique, notamment ceux de Fauvel (1923), Parenzan (1974) et Riedl (1991), en tenant compte des caractères morphologiques propres à chaque groupe.

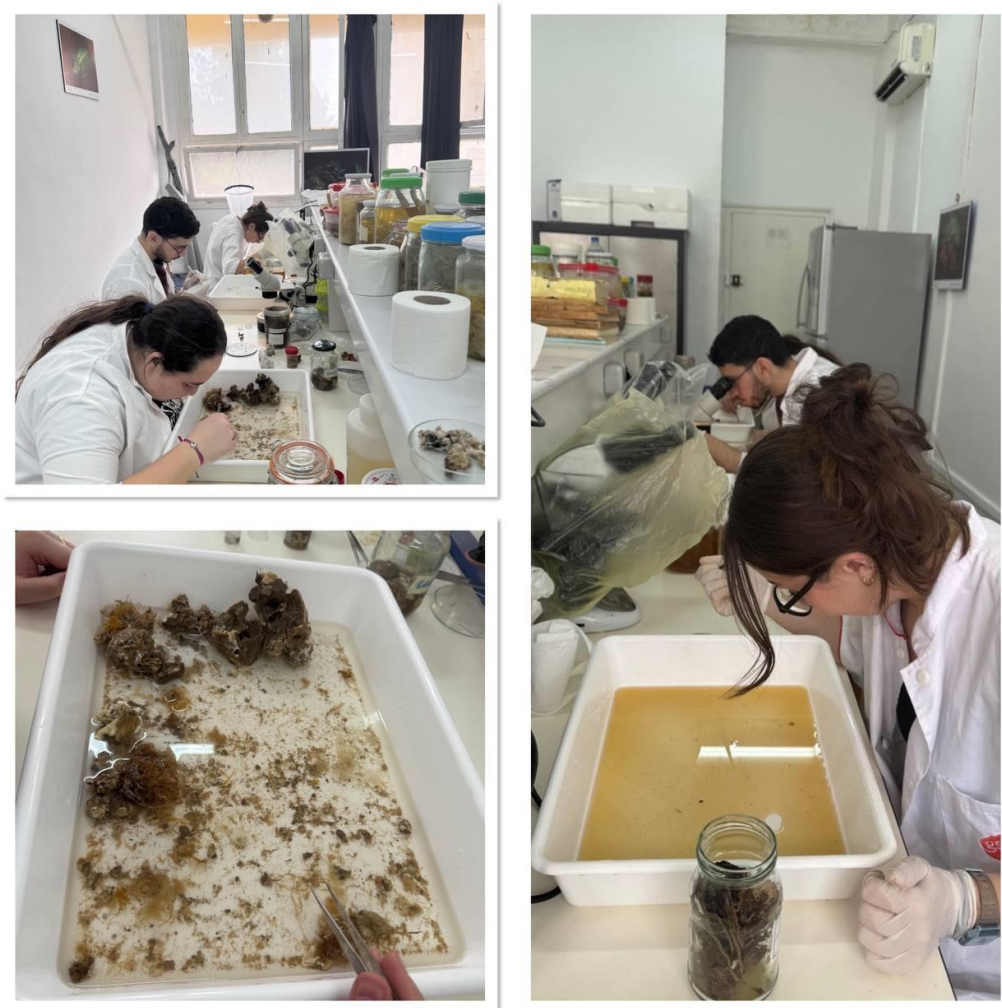


Figure 22 : Tri et identification du macro benthos

3.4. Résultats et discussions

Avant d’entamer l’examen des différents indicateurs environnementaux, il est essentiel de mettre en lumière l’apport des images satellitaires capturées lors de la campagne de prélèvements du 9 avril 2025. Ces images révèlent une zone aquatique particulièrement trouble, en particulier dans les environs de l’île de Rachgoun. Ce jour-là, les vents dominants de secteur nord-est ont favorisé le déplacement des effluents, accentuant ainsi la turbidité observée dans cette portion du littoral.

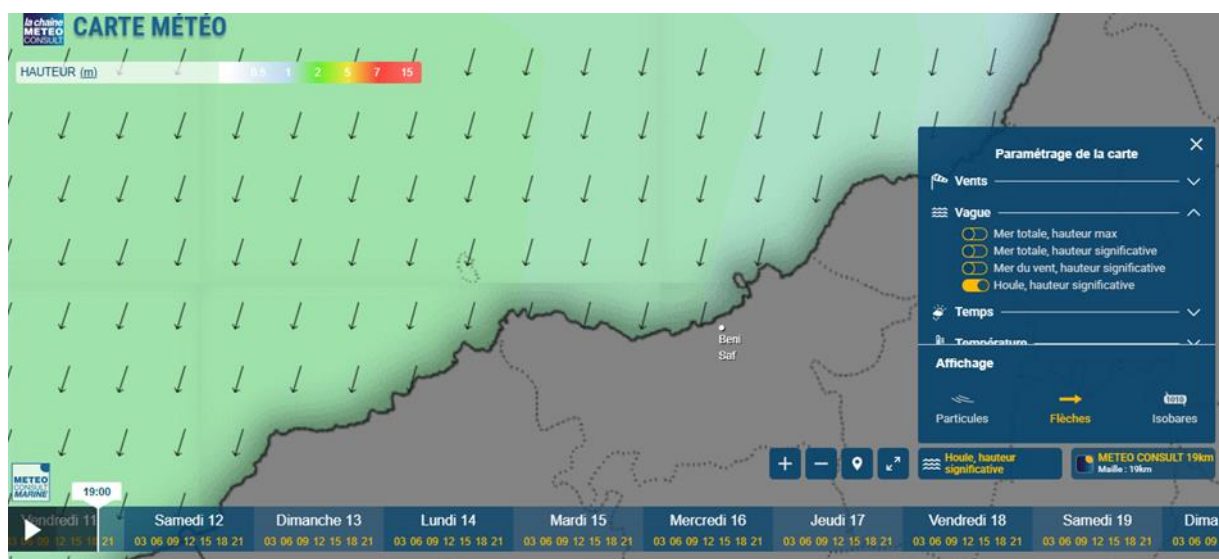


Figure 23 : Image montrant les vents du jour de l’échantillonnage (Meteo consult)

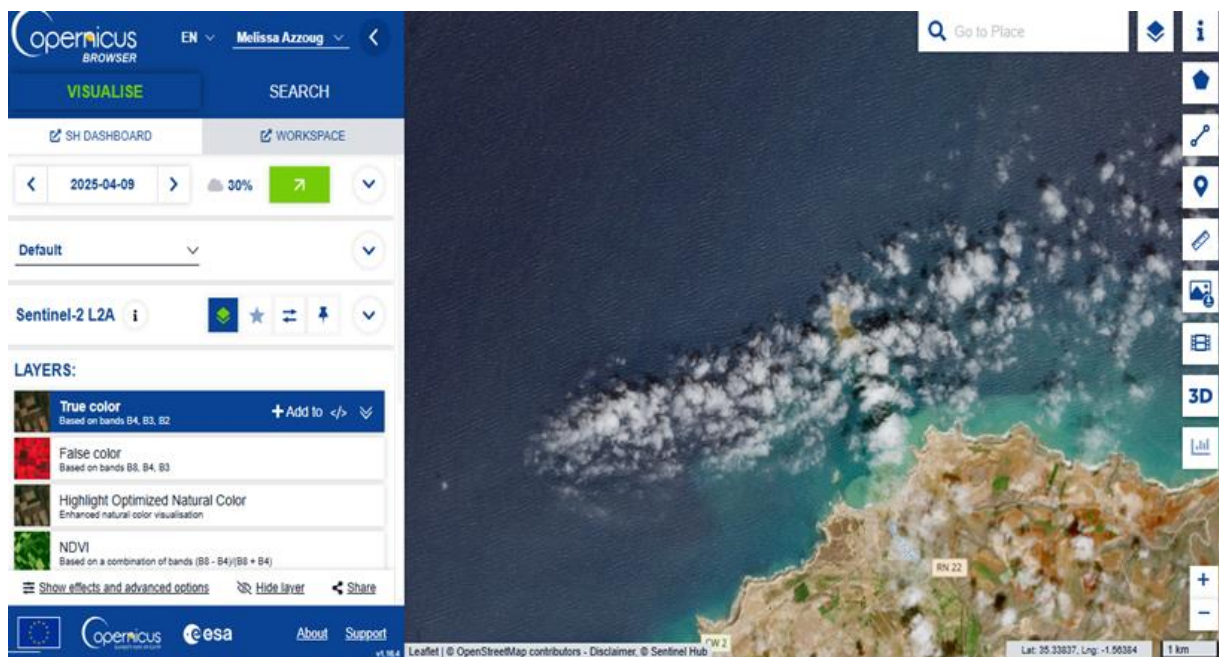


Figure 24 : Image satellitaire montrant l’état meteorologique du 09/04/2025 (Copernicus)



Figure 25 : Zoom de l'image satellitaire (Copernicus)

3.4.1. Diagnostique environnementale

- **Température**

Les relevés de température aux différentes stations montrent une certaine hétérogénéité, bien que les valeurs restent globalement compatibles avec les conditions printanières du mois d'avril. Les températures varient entre 17,7 °C et 18,7 °C. Les stations 3 et 1 affichent les températures les plus élevées, respectivement 18,7 °C et 18,4 °C, ce qui pourrait être attribué à une exposition plus importante au rayonnement solaire ou à un renouvellement plus lent de la masse d'eau. À l'inverse, les stations 2, 4, 5, 6 et 7 présentent les températures les plus faibles, avoisinant les 17,7–17,9 °C, ce qui pourrait s'expliquer par une agitation plus prononcée de l'eau ou un refroidissement par les courants locaux.

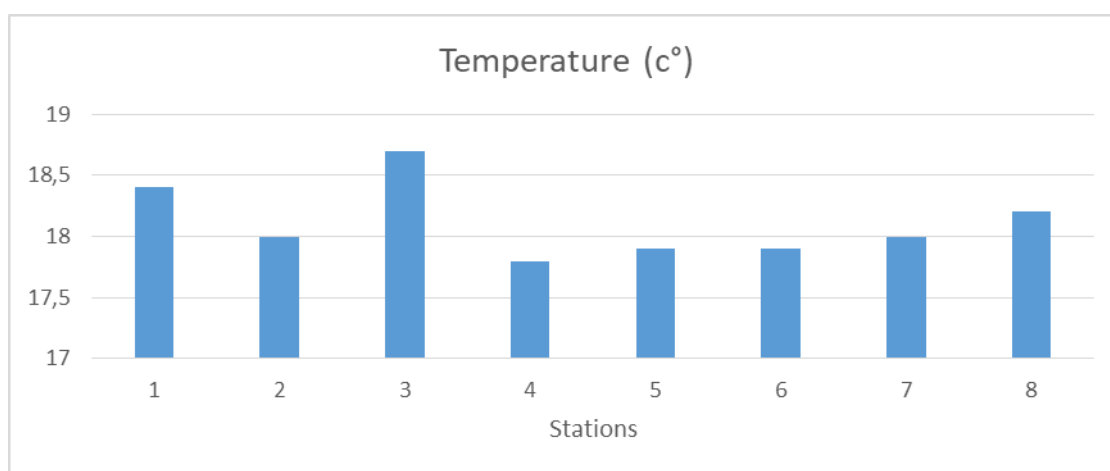


Figure 26 : Variation de la température autour de l'île de Rachgoun

- **Potentiel d'hydrogène**

Les mesures du pH révèlent des valeurs alcalines typiques des eaux marines, comprises entre 8,20 et 8,27. La station 3 enregistre la valeur maximale (8,27), traduisant probablement une activité photosynthétique accrue dans cette zone, favorisant la consommation de CO₂ et donc l'augmentation du pH. En revanche, les stations 1 et 6 affichent les valeurs les plus faibles (8,20 et 8,21 respectivement), ce qui pourrait s'expliquer par des apports récents en matière organique ou par une acidification temporaire liée à des précipitations survenues peu avant les prélèvements.

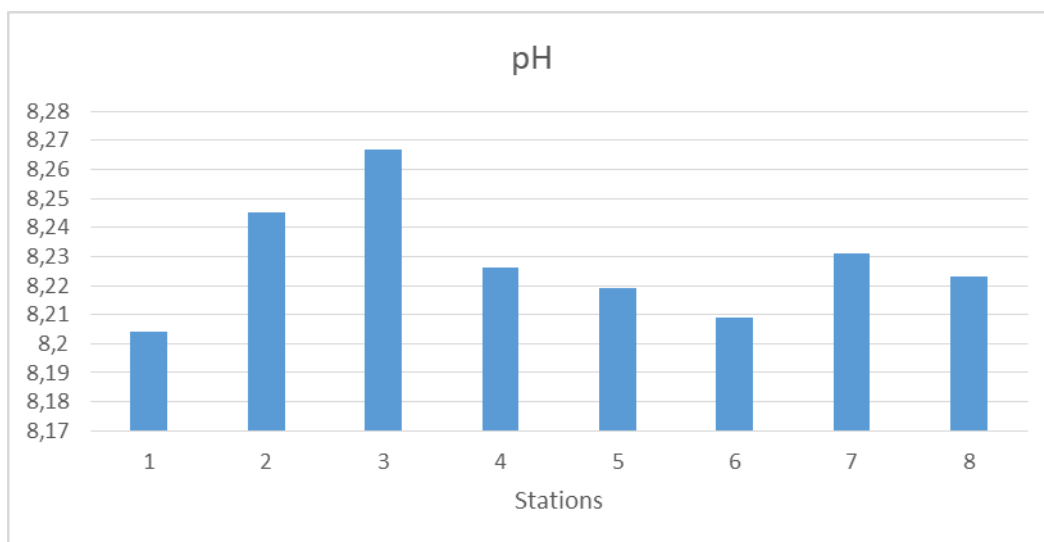


Figure 27 : Variation du pH autour de l'île de Rachgoun

- **Salinité (PSU)**

Les valeurs de salinité mesurées varient entre 36,3 et 36,9 PSU, ce qui demeure conforme aux standards des eaux méditerranéennes (36–37 PSU). La station 3 se distingue nettement avec une salinité de 36,9 PSU, traduisant une zone faiblement influencée par les apports d'eau douce et probablement bien connectée aux masses d'eaux marines ouvertes. À l'opposé, les stations 1, 2, 5, 6 et 8 présentent les valeurs les plus faibles (environ 36,3 PSU), probablement en lien avec des épisodes de précipitations ayant dilué localement la salinité.

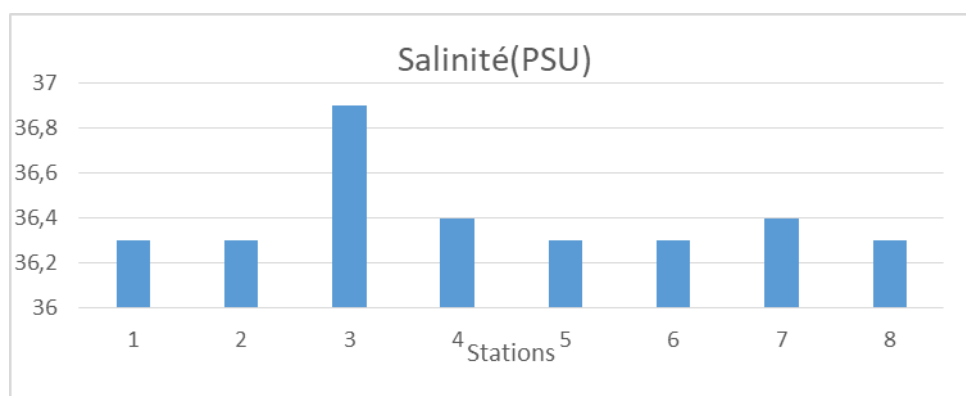


Figure 28 : Variation de la salinité autour de l'île de Rachgoun

- **Matière en suspensions (MES)**

Les concentrations en matières en suspension enregistrées varient entre 19 mg/l (station 7) et 29,5 mg/l (station 5). Les stations 4 et 5 présentent les valeurs les plus élevées (>28 mg/l), ce qui peut être attribué à une agitation importante du milieu, à la remise en suspension de sédiments ou à la présence visible de macrodéchets dans ces zones (tissus, plastiques, pneus, etc.). Les stations 2, 6, 7 et 8 présentent des valeurs plus faibles (<22 mg/l), indiquant une moindre turbidité et donc une meilleure transparence de l'eau de surface, probablement en lien avec une dynamique hydrodynamique plus stable ou une moindre pression anthropique directe.

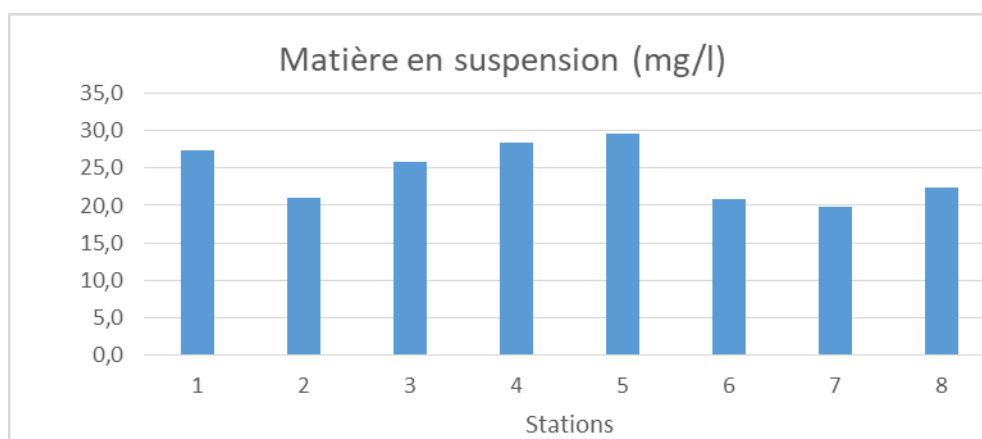


Figure 29 : Variation de la matière en suspensions autour de l'île de Rachgoun

- **Sels nutritifs**

- a) **Nitrates (NO_3^-)**

Les concentrations de nitrates varient entre 0,1 et 1,2 $\mu\text{mol/l}$. Les stations 1 et 2 présentent les concentrations les plus élevées (respectivement $\sim 1,2$ et $\sim 0,9$ $\mu\text{mol/l}$). Cette situation peut être liée à une oxydation accrue des nitrites ou à des apports terrigènes (ruissellements, rejets urbains). Les autres stations enregistrent des teneurs très faibles (<0,3 $\mu\text{mol/l}$), ce qui pourrait s'expliquer par une absorption rapide par le phytoplancton dans un contexte de forte activité photosynthétique.

- b) **Nitrites (NO_2^-)**

Les concentrations de nitrites sont globalement faibles, inférieures à 0,25 $\mu\text{mol/l}$ pour toutes les stations. Les stations 1 et 2 enregistrent les valeurs les plus notables, possiblement en lien avec une activité bactérienne intense ou une réduction incomplète des nitrates. Ces faibles concentrations restent cohérentes avec un bon état trophique et une bonne oxygénation de la colonne d'eau.

c) Ortho phosphates (PO_4^{3-})

Les concentrations les plus élevées sont observées à la station 1 ($\sim 2 \mu\text{mol/l}$), suggérant un impact potentiel de rejets domestiques ou de lessivages agricoles, conformément aux observations de Keraghel (2022) et Moussaoui (2024). Les autres stations présentent des valeurs plus homogènes, proches de 0,1 à 0,2 $\mu\text{mol/l}$, traduisant une faible pression en phosphore dissous.

d) Silicates (SiO_2)

Le paramètre silicate domine nettement les autres nutriments, avec une moyenne visuelle supérieure à 5 $\mu\text{mol/l}$. La station 4 atteint une valeur maximale ($>9,5 \mu\text{mol/l}$), suivie par les stations 5 et 1. Ces fortes concentrations pourraient être liées à la dissolution des tests siliceux, à des apports continentaux (ruissellement, rejets urbains), ou encore à une faible consommation par les diatomées dans ces zones spécifiques.

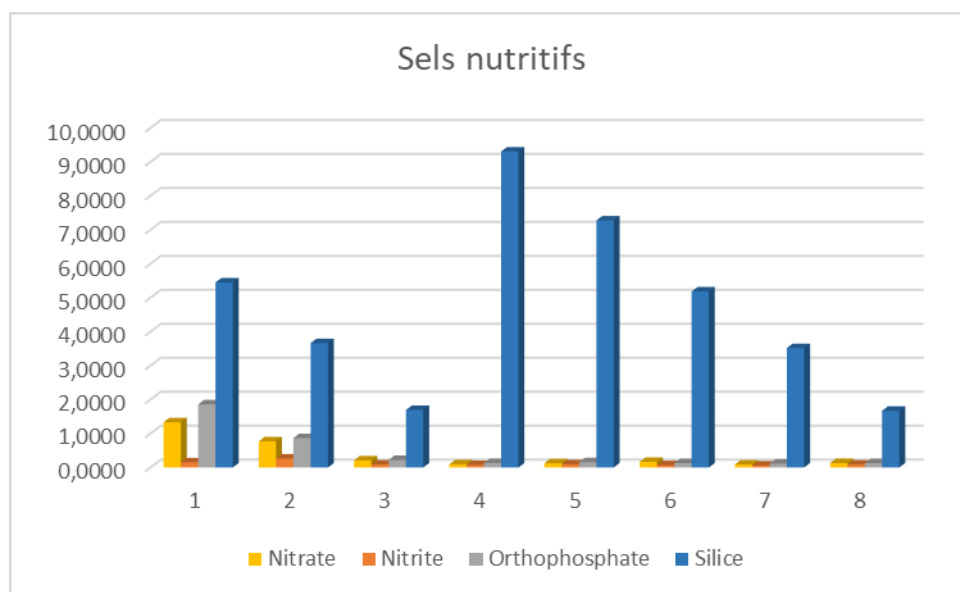


Figure 30 : Variation des sels nutritifs autour de l'île de Rachgoun

- **Matière organique (%MO)**

La matière organique a été évaluée sur les stations 9 et 10 car les autres stations présentent des fonds rocheux et profond non propices à des prélèvements de sédiments (Fig.31). Les résultats révèlent une moyenne de 23,36% de matière organique, accompagnée d'un écart type estimé à environ 1,48. La station 9 enregistre la valeur la plus élevée avec 24,42 %, ce qui pourrait être attribué à un sédiment riche en éléments fins et en débris biodégradables, comme des fragments de coquilles ou des restes organiques issus de l'activité littorale. En revanche, la station 10 affiche une valeur plus faible (22,40 %), probablement liée à une dynamique hydrodynamique plus active ou à une composition sédimentaire plus grossière, limitant la rétention de matière organique. Ces variations traduisent des différences environnementales notables entre les deux stations, situées entre la plage Madrid et l'île de Rachgoun.

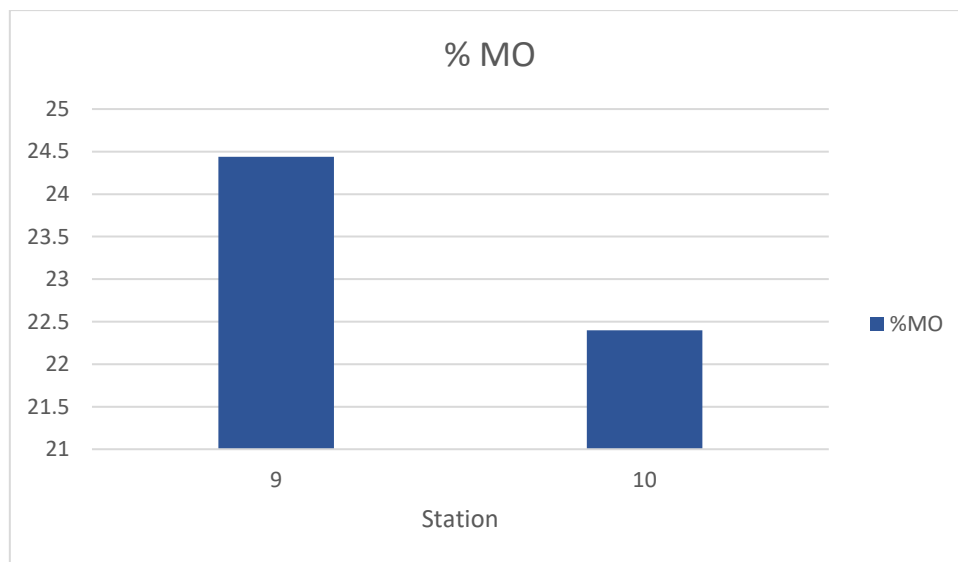


Figure 31 : Variation de la matière organique entre l'île de Rachgoun et la côte

- **Métaux lourds**

La mesure des métaux lourds a été évaluée au niveau des stations 9 et 10 afin de connaître le taux de contamination du milieu. Les résultats sont représentés par la figure 32. L'analyse a porté sur quatre éléments métalliques : le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le nickel (Ni) et le plomb (Pb). Les données révèlent que la station 9 affiche des teneurs légèrement supérieures pour la majorité des métaux analysés, notamment en Cu, Ni et Pb, comparativement à la station 10. Le zinc, quant à lui, présente des concentrations similaires dans les deux stations. Cette distribution pourrait refléter une influence plus marquée de sources de pollution potentielle au niveau de la station 9. Afin de mieux interpréter ces valeurs, il serait pertinent de les confronter aux niveaux de référence géochimiques établis par Taylor et McLennan (1985–1995) ainsi que par Claisse et Raffin (1994), servant de seuils de fond naturels.

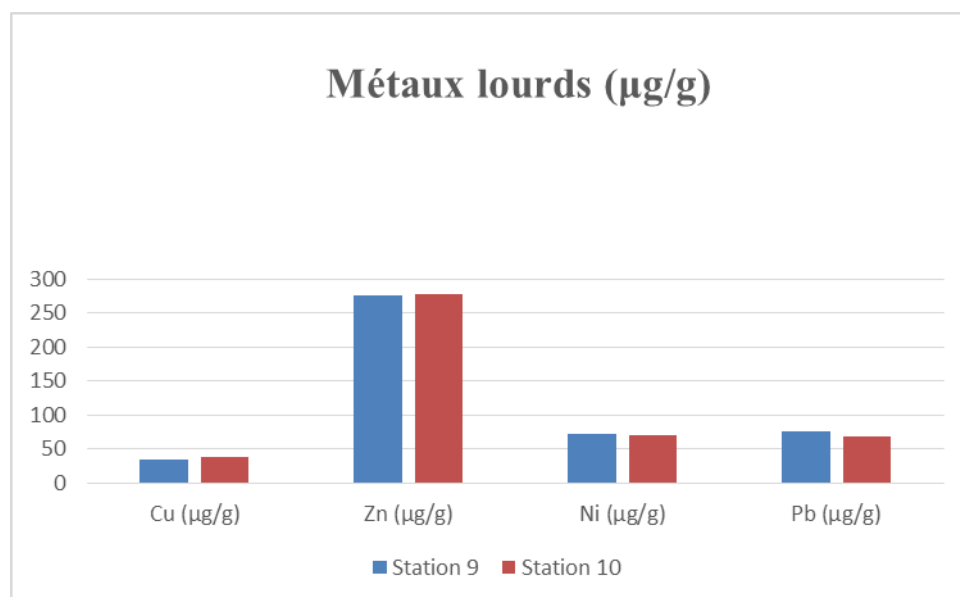


Figure 32 : Variation des Métaux lourds entre l'île de Rachgoun et la côte

3.4.2. Diagnostic écologique, biodiversité et inventaire :

Après avoir identifié les espèces récoltées au niveau de la station 8 qui se situe au nord-est de l'île de Rachgoun, nous avons obtenu les résultats suivants :

- **Biodiversité et inventaire**

Nous avons recensé un total de 377 individus issus des trois règnes représentés : Animalia (254 individus), Plantae (56 individus) et Chromista (67 individus). L'étude a permis d'identifier 59 espèces d'annélides polychètes, 55 espèces de mollusques (dont 47 gastéropodes, 7 bivalves et 1 polyplacophore), 83 arthropodes (principalement des malacostracés), 51 échinodermes (majoritairement des ophiuroïdes), ainsi que 6 cnidaires anthozoaires. Du côté des végétaux et protistes, 25 espèces de Rhodophytes, 31 de Chlorophytes et 67 espèces d'Ochrophytes ont été

recensées. Ces espèces se répartissent en plusieurs niveaux taxonomiques : au moins 12 classes, 5 ordres et 3 familles, révélant une diversité notable des organismes présents autour de l'île de Rachgoun.

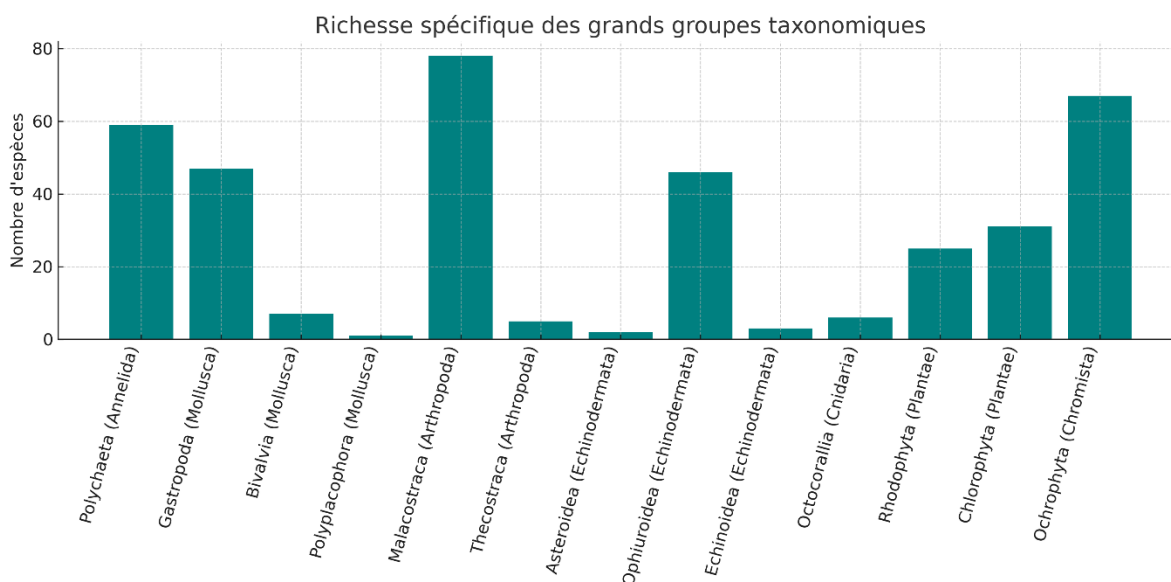


Figure 33 : Richesse spécifique des grands groupes taxonomique

Le diagramme en anneaux présente une répartition hiérarchique des organismes marins observés, structurée selon trois niveaux taxonomiques : règne, phylum, et classe. L'analyse révèle une dominance nette du règne Animalia, qui représente 67,4 % de l'ensemble des taxons recensés (254 occurrences). Viennent ensuite les règnes Plantae (14,9 %) et Chromista (17,8 %), contribuant également à la diversité marine locale.

Au niveau des phylum, deux groupes principaux émergent :

- Les Arthropoda constituent 22 % des organismes, avec une forte représentation des classes Malacostraca (20,7 %) et Thecostraca (1,3 %).
- Les Mollusca, deuxième phylum en importance (17,8 %), se déclinent principalement en Gastropoda (12,5 %), Bivalvia (1,9 %) et Polyplacophora (0,8 %).

Les Echinodermata, représentant 15,6 %, regroupent des classes bien réparties : Asteroidea (12,2 %), Ophiuroidea (1,6 %), et Echinoidea (1,8 %). Cette diversité témoigne de fonds marins hétérogènes et de bonnes conditions écologiques benthiques.

Chez les Cnidaria (6,6 %), la classe Octocorallia (coraux mous) apparaît comme dominante, ce qui pourrait indiquer la présence de substrats durs favorables à la colonisation.

Enfin, les groupes Annélides (Polychètes, 6,6 %) et les phytobenthos (Rhodophyta, Chlorophyta, Ochrophyta cumulés à ~24 %) contribuent significativement à la diversité globale. Cela reflète

un écosystème équilibré, intégrant à la fois groupes animaux mobiles, fixés, et végétaux marins photosynthétiques.

La structure taxonomique mise en évidence dans ce graphique suggère une biodiversité fonctionnelle complexe, typique des milieux côtiers rocheux ou insulaires bien conservés. La prévalence des Arthropodes et Mollusques indique un bon état de l'interface benthique, tandis que la diversité algale (Rhodophyta, Chlorophyta, Ochrophyta) révèle une activité primaire productive, soutenant les niveaux trophiques supérieurs.

Répartition des organismes marins par niveau taxonomique (%)

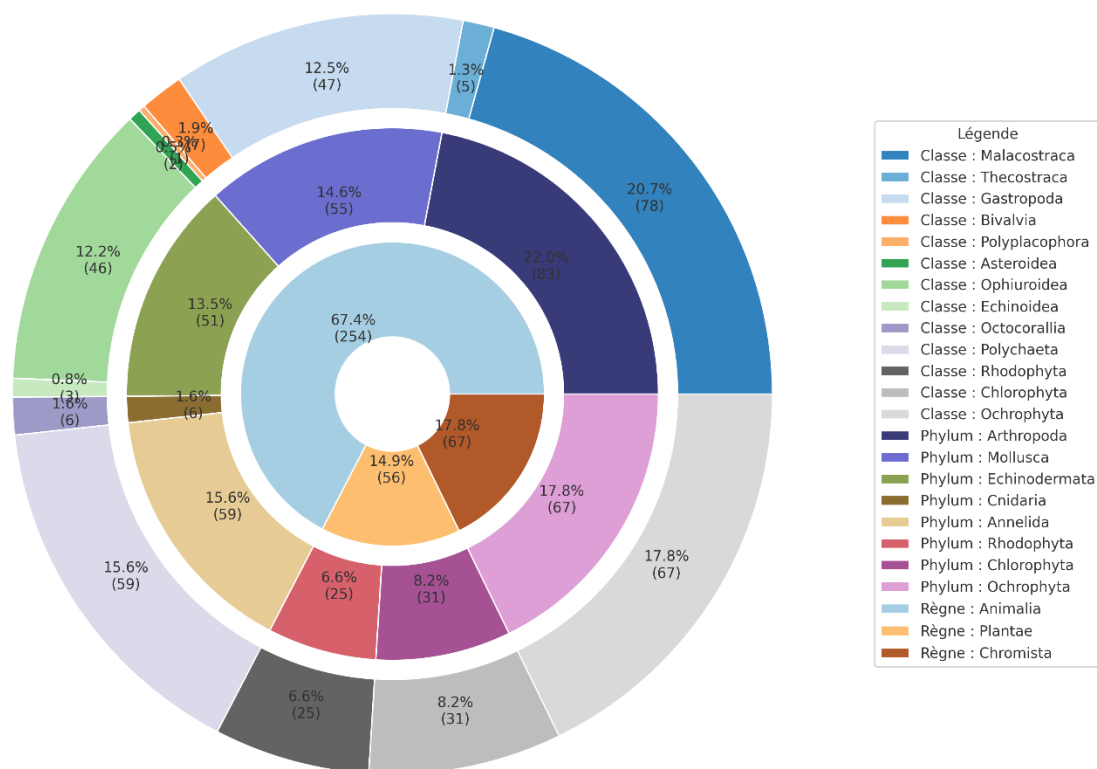


Figure 34 : diagramme de répartition des organismes marins par niveau taxonomique de la station 8

Chapitre 4

Analyse de la vulnérabilité de l'île de Rachgoun

4. Analyse de la vulnérabilité de l'île de Rachgoun

Ce chapitre est consacré à l'évaluation de la vulnérabilité de l'île de Rachgoun à travers une approche intégrée, combinant des dimensions écologiques, physiques et socio-économiques. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur une diversité d'études de référence, mobilisant des outils méthodologiques à la fois quantitatifs et qualitatifs. L'analyse ne se limite pas au contexte méditerranéen, mais s'inscrit dans une perspective comparative plus large, en intégrant des expériences menées dans d'autres régions du monde confrontées à des problématiques similaires. Nous décrivons en détail le protocole adopté pour cette évaluation, incluant les techniques de collecte de données, les critères retenus, ainsi que le système de pondération appliqué aux différents paramètres. Enfin, les résultats obtenus sont présentés sous forme de classement et de représentation spatiale, afin de mettre en évidence les zones les plus sensibles. Cette démarche vise à appuyer une gestion plus ciblée et résiliente des risques auxquels sont exposés les milieux insulaires, en particulier ceux à forte valeur écologique comme Rachgoun.

4.1. Quelques exemples pertinents de travaux sur la vulnérabilité des zones marines et côtières

Les travaux récents sur la vulnérabilité côtière et insulaire ont mobilisé des approches variées, intégrant des données environnementales, sociales et spatiales. Yanes et al. (2024) ont développé un indice basé sur les SIG et les perceptions locales pour évaluer la vulnérabilité des écosystèmes insulaires en Amérique du Sud, en s'appuyant sur des facteurs comme la pollution, la couverture terrestre et la fragilité sociale. Ramieri et al. (2011) ont proposé une méthode intégrée pour les côtes européennes, combinant des variables physiques et socio-économiques afin d'estimer la sensibilité au changement climatique. En Espagne, Mooser et al. (2021) ont conçu un indice de sensibilité paysagère intégrant l'esthétique, la pression touristique et la biodiversité. Koroglu et al. (2019) ont comparé différents indices de vulnérabilité appliquée à Barcelone, en analysant la géomorphologie et l'urbanisation littorale. Kurniawan et al. (2016) ont privilégié une approche participative pour mesurer les effets du tourisme sur les petites îles indonésiennes, via des indicateurs socio-écologiques. Xie et al. (2019) ont établi un seuil critique de perturbation anthropique sur une île chinoise, en combinant sensibilité écologique et intensité d'usage humain. Enfin, Payus et al. (2022) et Kumar et al. (2018) ont évalué la vulnérabilité climatique des écosystèmes côtiers en Asie et dans le Pacifique, à travers des indices intégrant température, érosion, élévation du niveau de la mer et biodiversité.

Table 9 : Recherche préalable et méthodologie sur l'évaluation de la vulnérabilité

Auteurs	Contribution pour l'analyse de vulnérabilité	Zone	Indice utilisé et méthode	Attributs/Paramètres utilisés	Lien
Yanes et al., (2024)	Analyse des pressions anthropiques sur les écosystèmes insulaires via des indicateurs de vulnérabilité.	Amérique du Sud	Indice de vulnérabilité écologique basé sur SIG + perceptions locales	Occupation du sol, pollution, biodiversité, vulnérabilité sociale	https://preprints.arphahub.com/article/138740/download/pdf/
Ramieri et al., (2011)	Méthodologie pour l'évaluation de la vulnérabilité côtière au changement climatique.	Europe (côtes UE)	Indice combiné socio-économique et naturel (Vulnerability Index)	Élévation du niveau de la mer, usage du sol, données socio-économiques	https://dorsu.edu.ph/faculty/jscabrera/wp-content/uploads/2022/11/TP_1-2011.pdf
Mooser et al., (2021)	Méthode d'évaluation de la beauté paysagère côtière intégrant la sensibilité aux pressions humaines.	Espagne (îles et côtes)	Indice de sensibilité paysagère, pondération multi-attributs	Paysage, impact touristique, biodiversité, perception visuelle	https://www.mdpi.com/2073-4441/13/1/49
Koroglu et al., (2019)	Comparaison des indices de vulnérabilité côtière appliqués à Barcelone.	Province de Barcelone	Coastal Vulnerability Index (CVI), approche comparative	Géomorphologie, topographie, occupation côtière	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569118308779
Kurniawan et al., (2016)	Évaluation de la vulnérabilité liée au tourisme sur les petites îles.	Îles Gili Matra (Indonésie)	Approche participative + indicateurs socio-écologiques	Capacité de résilience, statut socio-éco, dégradation des habitats	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989415300500
Xie et al., (2019)	Seuil de perturbation anthropique basé sur la vulnérabilité écologique.	Zhujiajian Island (Chine)	Méthode de notation et seuil de pression écologique	Utilisation humaine, sensibilité écologique, données environnementales	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569118304812
Payus et al., (2022)	Indice combiné pour évaluer la vulnérabilité climatique des écosystèmes côtiers.	Asie du Sud-Est	Climate Change Vulnerability Index (CCVI)	Température, biodiversité, vulnérabilité climatique projetée	https://link.springer.com/article/10.1007/s42452-022-05112-x
Kumar et al., (2018)	Indice indicatif de la susceptibilité physique des îles au changement climatique.	Îles du Pacifique	Indice composite basé sur l'érosion côtière et l'élévation du niveau marin	Érosion, élévation de la mer, exposition physique	https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19475705.2018.1455749

4.2. Méthodologie

4.2.1. Collecte et sélection des données

L'évaluation de la vulnérabilité de l'île de Rachgoun repose sur une sélection méthodique des indicateurs les plus représentatifs du contexte local. Une matrice d'évaluation a été établie, combinant des variables écologiques et socio-économiques jugées essentielles pour caractériser les pressions exercées sur l'environnement. Bien que certains paramètres pertinents aient été exclus, leur influence a été considérée comme marginale au regard des spécificités du site.

- **Indice de sensibilité environnemental (ISE)**

Les zones marines et côtières sont exposées à une série de pressions environnementales, parmi lesquelles figurent la pollution des eaux littorales, l'épuisement des ressources biologiques, la détérioration des habitats naturels, la réduction de la biodiversité et les impacts liés aux changements climatiques (Silhadi, 2021). Face à cette complexité de menaces, il devient essentiel d'intégrer l'Indice de sensibilité environnementale (ISE) dans les analyses, afin de mieux cerner la vulnérabilité des espaces insulaires et d'adapter les mesures de gestion en conséquence.

a) **Température**

L'évaluation de la température repose sur le nombre d'anomalies thermiques observées annuellement, permettant de détecter les variations au sein de la colonne d'eau. Ce paramètre est essentiel dans le cadre de l'analyse de la vulnérabilité, car les fluctuations thermiques peuvent profondément altérer les équilibres des écosystèmes marins et côtiers. En effet, ces milieux sont soumis à de multiples pressions, dont la pollution, la dégradation des habitats, la diminution des ressources biologiques, la perte de biodiversité et les effets du changement climatique (Silhadi, 2021). Ces dynamiques renforcent la nécessité d'intégrer les variables environnementales dans l'évaluation de la vulnérabilité des zones insulaires. Les variations de température, en particulier, ont des conséquences directes sur la structure et le fonctionnement des communautés biologiques (Crisci, 2011).

b) **Potentiels d'hydrogène (pH)**

Le pH constitue un indicateur fondamental du degré d'acidité ou d'alcalinité d'un milieu aquatique. Il joue un rôle central dans le maintien de l'équilibre physico-chimique des écosystèmes marins et côtiers. Dans une perspective de vulnérabilité, l'analyse du pH permet de détecter les déséquilibres chimiques susceptibles d'affecter la biodiversité, la reproduction des espèces et la qualité globale du milieu marin (Ouahil, 2017).

c) **Sels nutritifs**

Les composés nutritifs tels que les nitrites, nitrates, orthophosphates et silicates sont indispensables au développement des organismes marins. Cependant, une concentration excessive de ces éléments peut entraîner des phénomènes d'eutrophisation, altérant la qualité des eaux et menaçant l'équilibre écologique. Leur surveillance est donc primordiale dans toute démarche d'évaluation de la vulnérabilité des milieux côtiers et marins (Pinay et al., 2018).

d) **Matières en suspension et matière organique**

Les matières en suspension réduisent la transparence de l'eau, perturbant ainsi les processus de photosynthèse et l'alimentation des espèces marines. De leur côté, les matières organiques peuvent enrichir excessivement le milieu, modifiant les cycles biogéochimiques et favorisant également l'eutrophisation. Ces deux indicateurs sont donc révélateurs de la santé des écosystèmes et doivent être pris en compte dans l'analyse de leur vulnérabilité (Monaco & Prouzet, 2014).

e) **Métaux lourds**

Les métaux lourds tels que le plomb, le mercure, le cuivre, le zinc ou le cadmium présentent une toxicité élevée pour les organismes marins. Leur accumulation dans les tissus biologiques peut provoquer des effets délétères sur la faune, altérer la chaîne alimentaire et représenter un danger pour la santé humaine. Leur présence dans les écosystèmes marins constitue ainsi un indicateur critique dans l'évaluation des risques environnementaux et sanitaires (Beliaeff et al., 2011).

• **Indice de sensibilité socio-économique et pression anthropique (ISSEPA)**

Les zones littorales à travers le monde se caractérisent par une forte densité de population et une activité socio-économique soutenue, comme l'ont souligné Small et Nicholls (2003). Cette dynamique démographique engendre une pression croissante sur les écosystèmes côtiers et marins, reconnus pour leur complexité et leur vulnérabilité. Ces perturbations donnent souvent lieu à des déséquilibres importants, accompagnés de tensions sociales, notamment en raison de la dégradation des services écosystémiques essentiels tels que la pêche et le tourisme (De Andrés et al., 2018). Dans ce contexte, l'Indice de sensibilité socio-économique et de pression anthropique (ISSEPA) constitue un outil pertinent pour évaluer l'impact des activités humaines sur ces milieux fragiles.

a) Pêche à la ligne

La pêche à la ligne est une activité récréative pratiquée par les êtres humains pour capturer des espèces marines, à la fois pour se nourrir et se divertir. Cette pratique revêt une importance significative dans l'analyse de la vulnérabilité, car le nombre de pêcheurs par jour peut avoir un impact notable sur l'environnement.

b) Pêche aux petits métiers

La pêche artisanale, utilisant des techniques simples et des engins rudimentaires, est menée par des pêcheurs locaux sur de petites embarcations. Elle peut avoir des effets négatifs sur l'environnement marin, notamment par la surpêche et l'utilisation de filets non sélectifs, ce qui menace la biodiversité.

c) Pêche au chalut

La pêche au chalut, méthode industrielle utilisant de grands filets traînants, est pratiquée par des navires puissants. Elle entraîne souvent une surpêche et des captures accidentelles, notamment de juvéniles, impactant les stocks de poissons et les habitats marins. Son impact sur le fond marin est également significatif, avec des perturbations physiques et chimiques.

d) Plongée sous-marine

La plongée sous-marine, activité d'exploration des fonds, est mesurée par le nombre de plongées annuelles. Elle reflète l'impact humain sur les écosystèmes fragiles, fournissant des données essentielles pour une gestion durable des zones de plongée.

e) Tourisme

Le tourisme, sous ses diverses formes (balnéaire, écologique, culturel, d'aventure), est étudié pour évaluer ses impacts spécifiques sur les écosystèmes marins et les communautés locales, dans une optique de vulnérabilité.

f) Ports

Les activités portuaires peuvent provoquer des impacts variés, comme la pollution de l'eau ou les perturbations physiques dues au trafic maritime. Leur influence doit être prise en compte dans l'évaluation de la vulnérabilité des écosystèmes

g) Transport (marin)

Le transport maritime, incluant le transit de marchandises et de passagers, peut impacter les écosystèmes marins par la pollution de l'eau, les risques de déversements, et les perturbations causées par le bruit des navires. Son intensité, mesurée par le trafic maritime, est un facteur important dans l'évaluation de la vulnérabilité des zones côtières.

h) Sardinier

Les sardinières, navires spécialisés dans la pêche à la sardine, peuvent exercer une pression significative sur les populations de sardines et les écosystèmes associés. L'évaluation de leur activité, mesurée par les volumes de captures, est essentielle pour la gestion durable de cette ressource et la conservation de la biodiversité marine.

4.3. Élaboration du modèle de vulnérabilité

Une fois les attributs pertinents identifiés, l'évaluation de la vulnérabilité repose sur une méthodologie intégrant à la fois une approche d'aide à la décision multicritères (MCDA) et des outils d'analyse spatiale via un Système d'Information Géographique (SIG). L'approche multicritère permet d'exploiter des données hétérogènes issues de différentes sources et d'attribuer à chaque critère un poids selon son influence relative. Par la suite, le SIG est utilisé pour réaliser une analyse spatiale approfondie, conduisant à la production d'une carte synthétique illustrant la répartition géographique des zones les plus exposées à la vulnérabilité (Li et al., 2009).

4.4. Normalisation des données

Dans le cadre de la conception du modèle de vulnérabilité appliqué à l'île de Rachgoun, une approche rigoureuse a été mise en œuvre afin d'assurer la comparabilité des données. Cette approche repose sur la classification des attributs selon des normes officielles et des références issues de la littérature scientifique. Une fois les attributs sélectionnés et catégorisés, un système de scorisation a été appliqué à l'aide d'une méthode de normalisation. La normalisation, telle que définie par Fritzsche et al. (2017), consiste à transformer les valeurs d'indicateurs mesurés sur des échelles et unités différentes en valeurs sans unité, standardisées sur une échelle commune. La formule de redimensionnement (1) utilisée est la suivante (Noorbakhsh, 1998 ; Yoo & Kim, 2014 ; Asare-Marfo et al., 2013) :

$$\text{Score } X_n(i) = (X(i) - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}), \text{ avec } X_n(i) \in [0,1]$$

Cette opération permet d'harmoniser les données, assurant ainsi une analyse plus cohérente et robuste. Pour les attributs à caractère qualitatif, notamment d'ordre socio-économique, les scores ont été attribués sur la base d'un jugement expert, en fonction du nombre de classes prédéfini. L'ensemble de cette démarche vise à garantir la fiabilité du modèle appliqué à l'île de Rachgoun.

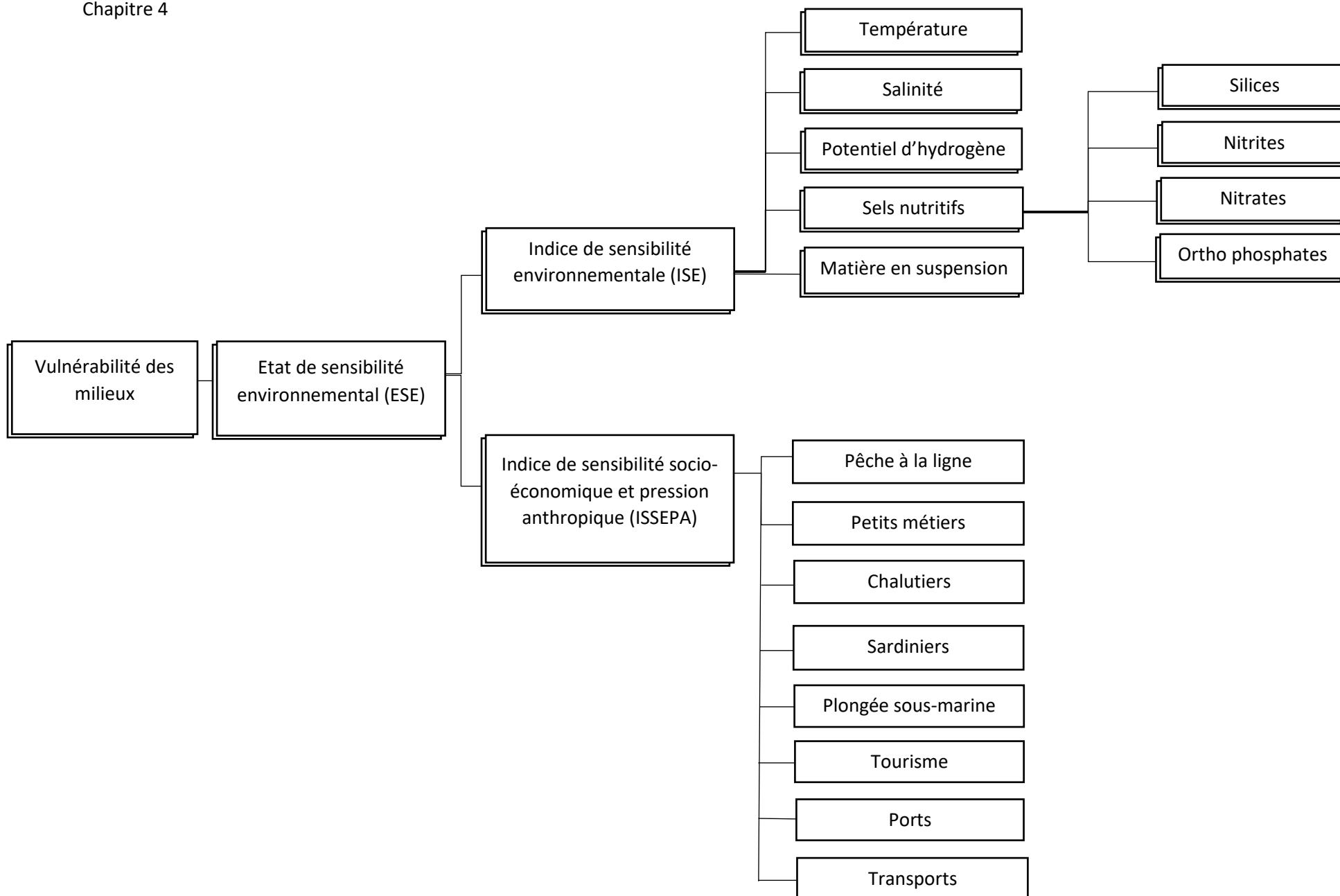


Figure 35 : Modèle conceptuel propose pour l'évaluation de la vulnérabilité des milieux insulaires

4.5. Pondération des attributs par la méthode d'analyse multicritère (AHP)

L'attribution des poids relatifs aux différents attributs a été réalisée à l'aide de la méthode AHP (Analytic Hierarchy Process), issue de l'analyse décisionnelle multicritère (MCDA). Cette méthode permet de hiérarchiser les critères et de leur affecter des poids selon leur importance dans le cadre d'un problème complexe, comme l'évaluation de la vulnérabilité environnementale (Topuz & Van Gestel, 2016 ; Saaty, 1980).

Les étapes appliquées sont les suivantes :

1. Décomposition hiérarchique du problème : L'objectif principal « état de sensibilité environnementale » est décomposé en deux sous-indices : sensibilité environnementale naturelle et pression anthropique.
2. Élaboration de tableaux de décision : Des comparaisons par paires sont effectuées à l'aide d'une échelle de 1 à 9, traduisant les niveaux d'importance.
3. Construction des matrices de jugement : Chaque matrice représente les comparaisons entre les attributs d'une même couche.
4. Calcul des poids : Les poids des attributs sont déterminés à partir des matrices, par résolution de l'équation caractéristique.
5. Agrégation des pondérations : L'agrégation permet d'obtenir le poids global associé à chaque groupe d'attributs.

4.5.1. Intégration de l'État de sensibilité environnementale (ESE)

L'État de sensibilité environnementale (ESE) correspond à la fusion des deux indices de groupe, il synthèse des indices pondérés précédemment obtenus. Il résulte de l'intégration des données normalisées et des poids attribués à chaque paramètre, selon la formule (2) suivante :

$$\mathbf{ESE = ISE + ISSEPA}$$

Chaque indice de groupe est représenté par la multiplication du poids avec le score de chaque attribut, dans la formule (3) suivante :

$$\sum (\mathbf{Si} \times \mathbf{Wi})$$

Où S_i représente la valeur normalisée de l'attribut i , W_i son poids, et n le nombre total de paramètres considérés et n est le nombre de paramètres utiliser et le $i= 1, 2, 3, \dots, n$.

Cette synthèse permet d'exprimer numériquement la sensibilité d'un site donné aux pressions environnementales et anthropiques.

4.5.2. Cartographie de la sensibilité

Les valeurs de l'ESE ont été cartographiées et classées en cinq niveaux de vulnérabilité (de très faible à très élevée), conformément à la méthode proposée par Li et al. (2009). Cette cartographie permet de visualiser les zones les plus exposées autour de l'île de Rachgoun et d'orienter les stratégies de gestion adaptées.

Table 10 : Évaluation de la vulnérabilité

Classe de vulnérabilité	Description	Intervalle ESE
1	Peu vulnérable	$0 < \text{ESE} \leq 0,2$
2	Moyennement vulnérable	$0,2 < \text{ESE} \leq 0,4$
3	Vulnérable	$0,4 < \text{ESE} \leq 0,6$
4	Très Vulnérable	$0,6 < \text{ESE} \leq 0,8$
5	Extrêmement vulnérable	$0,8 < \text{ESE} \leq 1$

Cette grille de classification permet d'associer chaque valeur de l'Etat de Sensibilité Environnementale (ESE) relevée sur les différentes stations à une description précise ainsi qu'à une classe spécifique de vulnérabilité. Un ESE faible reflète une faible sensibilité du milieu, tandis qu'un ESE élevé traduit une vulnérabilité marquée. Ces différentes classes sont ensuite intégrées dans un système d'information géographique (SIG), ce qui permet de produire des cartes thématiques illustrant la vulnérabilité globale de la zone insulaire étudiée.

4.6. Résultats de l'analyse de vulnérabilité

4.6.1. Traitement et normalisation des données

La normalisation a été réalisée à partir de classifications issues de références officielles, de normes réglementaires et de sources scientifiques. Chaque attribut a été hiérarchisé en fonction de ces documents. Toutefois, pour certains paramètres à caractère socio-économique, des catégories spécifiques ont dû être construites, en raison du manque de données disponibles et de l'absence d'études antérieures. Par exemple, les anomalies de température ont été divisées en quatre classes, allant de 0 à plus de 5 occurrences annuelles, selon les travaux de Marec (1995). Concernant le potentiel hydrogène (pH), une classification en cinq niveaux a été adoptée en s'appuyant sur les standards environnementaux établis par le Ministère de l'Environnement du Japon. Cette échelle couvre une plage allant de valeurs inférieures à 6 jusqu'à 9. Pour les nutriments, notamment la silice, les orthophosphates, les nitrites et les nitrates, des fourchettes spécifiques ont été définies. Ainsi, la silice a été classée selon une échelle de 5 à 25 $\mu\text{mol/l}$, sur la base des données fournies par le Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec (2016). Les orthophosphates, quant à eux, ont été répartis sur une plage de 0,5 à 2 $\mu\text{mol/l}$,

tandis que les concentrations de nitrites et de nitrates ont été évaluées dans une gamme allant de 0,2 à 20 $\mu\text{mol/l}$, en référence à Beliaeff et al. (2011). Pour les attributs socio-économiques, la catégorisation s'est basée sur notre propre expertise et nos connaissances du contexte local. Ainsi, la pêche à la ligne a été évaluée selon une échelle de quatre niveaux d'intensité allant de – à +++, en fonction du nombre moyen de pêcheurs recensés par jour. Le nombre d'embarcations impliquées dans les petits métiers a été classé de la même manière, à travers quatre classes graduées de – à +++. La pêche au chalut a été traitée de manière binaire : *oui* ou *non*, selon la présence ou non de cette activité dans la zone. Pour la plongée sous-marine, le nombre de plongées annuelles a été réparti en quatre catégories allant de – à +++, traduisant l'intensité de fréquentation. Les ports ont été classés en deux types : *présence* ou *absence* d'infrastructure portuaire. À cela s'ajoutent d'autres variables importantes dans l'analyse : le tourisme a été évalué sur une échelle allant de – à +++, selon le degré d'attractivité et de fréquentation touristique du site ; la présence de sardiniers a été catégorisée selon une logique binaire (*oui / non*) ; enfin, l'activité de transport maritime a été estimée sur une échelle de – à +++, en fonction de l'intensité du trafic local. Toutes ces données ont été intégrées dans le modèle d'analyse et normalisées sur une échelle de 0 à 1 après application de l'équation (1), comme présenté dans le tableau suivant :

Table 11 : Normalisation des attributs de la vulnérabilité

	Attributs	Class	References	Description	Score
	Situation Environnementale				
	Temperature (Anomalie thermique/ an)	0	MAREC, L. (1995). Température de surface de la mer et anomalies en Atlantique tropical de mai à juillet 1995. Sea surface temperature and anomalies in the tropical Atlantic from May to July, 5-8.	Tres bonne Qualité	0
		[1-3[		Qualité Moyenne	0,4
		[3-5[		Mauvaise qualité	0,8
		≥ 5		Tres mauvaise qualité	1
	pH	< 6	Annexe 2 Normes environnementales pour la conservation du cadre de vie (espaces marins) -Ministere de l'environnement Japonais	Mauvaise qualité	1
		[6-7,8[		Qualité Moyenne	0,5
		[7,8-8,3[		Tres bonne Qualité	0
		[8,3-9[		Qualité Moyenne	0,5
		≥ 9		Mauvaise qualité	1
	Salinité	< 32	Béthoux, J. P. (1984). Paléo-hydrologie de la Méditerranée au cours des derniers 20 000 ans. Oceanologica acta, 7(1), 43-48.	Mauvaise qualité	1
		[32-35[		Qualité Moyenne	0,5
		[35-37[		Tres bonne Qualité	0
		[37-40[		Qualité Moyenne	0,5
	Sels nutritifs	Silice (µmol/l)	< 5	Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec, 2016	Mauvaise qualité	1
[5-25[			Tres bonne Qualité		0
≥ 25			Mauvaise qualité		1
Orthophosphates (µmol/l)		< 0,5	Beliaeff B., G. Bouvet, J.-M. Fernandez, C. David, T. Laugier. 2011. Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. 169 pages.	Tres bonne Qualité	0
		[0,5-2[		Qualité Moyenne	0,5
		≥ 2		Mauvaise qualité	1
Nitrites (µmol/l)		< 0,2		Tres bonne Qualité	0
		[0,5-20[		Qualité Moyenne	0,51
		≥ 20		Mauvaise qualité	1
Nitrates (µmol/l)		< 0,2		Tres bonne Qualité	0
		[0,5-20[		Qualité Moyenne	0,51
		≥ 20		Mauvaise qualité	1
Matiere en suspension (mg/L)		< 2	Silhadi, M. A., Refes, W., & Mazouzi, S. (2020). Assessment of coastal ecosystems vulnerability to pollution: Algiers coast, Algeria. Environmental Science and Pollution Research, 27(34), 42670-42684.	Tres bonne Qualité	0
		[2-25[		Qualité Bonne-Moyenne	0,24
		[25-38[		Qualité Moyenne	0,61
	[38-50[	Qualité Moyenne-Mauvaise		0,88	
	≥ 50	Mauvaise qualité		1	
Situation Socio-économique					
Pêche a la ligne	-	/	Milieu non perturbé	0	
	+		Milieu moyennement perturbé	0,33	
	++		Milieu perturbé	0,66	
	+++		Milieu tres perturbé	1	
Petits metiers	-	/	Milieu non perturbé	0	
	+		Milieu moyennement perturbé	0,33	
	++		Milieu perturbé	0,66	
	+++		Milieu tres perturbé	1	
Chaluts	NON	/	Milieu non perturbé	0	
	OUI		Milieu tres perturbé	1	
Sardinier	NON	/	Milieu non perturbé	0	
	OUI		µ	1	
Plongée sous marine (Nombres de plongées/an)	-	/	Milieu non perturbé	0	
	+		Milieu modérément perturbé	0,33	
	++		Milieu perturbé	0,66	
	+++		Milieu tres perturbé	1	
Tourisme	-	/	Milieu non perturbé	0	
	+		Milieu modérément perturbé	0,33	
	++		Milieu perturbé	0,66	
	+++		Milieu tres perturbé	1	
Port (Petits ports/Mouillages, abris de pêche, plage d'echouage)	NON	/	Milieu non perturbé	0	
	OUI		Milieu tres perturbé	1	
Transport	-	/	Milieu non perturbé	0	
	+		Milieu modérément perturbé	0,33	
	++		Milieu perturbé	0,66	
	+++		Milieu tres perturbé	1	

4.6.2. Pondération des critères

Grâce à la méthode d'analyse hiérarchique (AHP), des coefficients de pondération ont été attribués à chaque paramètre pris en compte dans l'étude. Cette démarche a permis d'identifier une nette dominance de l'indice socio-économique et de pression anthropique (G2), qui a obtenu un poids global de 0,7925, contre 0,2075 pour l'indice de sensibilité environnementale (G1). Cette répartition montre une influence bien plus marquée des facteurs humains dans l'évaluation de la vulnérabilité.

Certains critères liés aux dynamiques humaines ressortent avec des pondérations importantes, allant de 0,0425 à 0,1665. Ces valeurs traduisent l'impact significatif d'activités telles que la présence de ports, la navigation locale, les métiers artisanaux liés à la mer, la pêche récréative, le tourisme, ainsi que la densité urbaine.

Les composés nutritifs (tels que les nitrates, phosphates, etc.) se distinguent également par leur poids non négligeable, en raison de leurs effets sur la santé des écosystèmes aquatiques. Même si d'autres attributs présentent des pondérations plus modestes, ils conservent un intérêt analytique, en contribuant à une vision d'ensemble complète de la vulnérabilité des zones étudiées.

Table 12 : Pondération des attributs de vulnérabilité

Indice global	Indice de groupe (Gi)	Poids global (Wi)	Indice de Sous-groupes	Attributs (Ai)	Poids Local (Wi)
État de Sensibilité Environnementale (ESE)	Indice de Sensibilité Environnementale (ISE) (G1)	0,2075		Température	0,0381
				Ph	0,0379
				Salinité	0,0380
				MES	0,0174
			Sels nutritifs	Nitrate	0,0200
				Nitrite	0,0205
				Orthophosphate	0,0232
				Silice	0,0123
	Indice de Sensibilité socio-économique et pression anthropique (ISSEPA) (G2)	0,7925	Socio-économique	Pêche à la ligne	0,0740
				Petits métiers	0,1202
				Chalutiers	0,0610
				Sardinier	0,0560
				Plongée sm	0,0425
				Tourisme	0,1354
Port	0,1369				
Transport	0,1665				

4.6.3. Vulnérabilité insulaire

L'évaluation de la vulnérabilité de l'île de Rachgoun s'est appuyée sur l'application de l'équation 3, laquelle combine les valeurs des divers indicateurs avec leurs coefficients de pondération respectifs. Cette méthode a permis de générer des scores normalisés, compris entre 0 et 1, reflétant le degré de vulnérabilité à chaque site d'observation. La cartographie de cette vulnérabilité a été réalisée à l'aide du logiciel QGIS, en superposant les informations issues des deux groupes d'attributs, ce qui a conduit à la production d'une carte synthétique résumant les résultats du modèle mis en œuvre.

- **Indice global de vulnérabilité**

L'examen de l'indice de sensibilité environnementale (ISE) autour de l'île met en lumière des contrastes spatiaux significatifs dans les niveaux de vulnérabilité. L'analyse des huit stations d'échantillonnage révèle une variabilité marquée des pressions environnementales selon les zones de l'île, témoignant d'une hétérogénéité notable des facteurs de stress.

Les stations **1, 4, 6 et 7** présentent des indices de vulnérabilité modérés à élevés, traduits par des teintes allant du vert au jaune sur la carte. Ces valeurs indiquent une sensibilité accrue dans ces zones, probablement en lien avec des activités humaines plus marquées, telles que la navigation de plaisance, la pêche, ou la fréquentation touristique, ainsi que des facteurs naturels comme la faible profondeur et la proximité des habitats sensibles.

Les stations **2 et 3** présentent une vulnérabilité élevée en raison de leur exposition accrue aux pressions anthropiques (pollution, activités humaines), au tourisme non organisé intensif, à de fortes concentrations en matières en suspension, ainsi qu'à une altération de la biodiversité benthique. Leur faible capacité de résilience face aux changements environnementaux amplifie cette vulnérabilité.

La station **5**, située à l'ouest, affiche un indice relativement bas (zone bleue à verte), traduisant une vulnérabilité plus faible. Cette tendance suggère une moindre exposition aux pressions anthropiques, probablement en raison de l'éloignement par rapport aux infrastructures côtières et d'une activité humaine plus limitée.

Au nord de l'île, la station **8** montre également une vulnérabilité modérée. La transition entre les zones à faible et à moyenne vulnérabilité dans cette région pourrait être influencée par des dynamiques océanographiques locales, telles que les courants ou les dépôts sédimentaires, qui modulent la dispersion des polluants ou des nutriments.

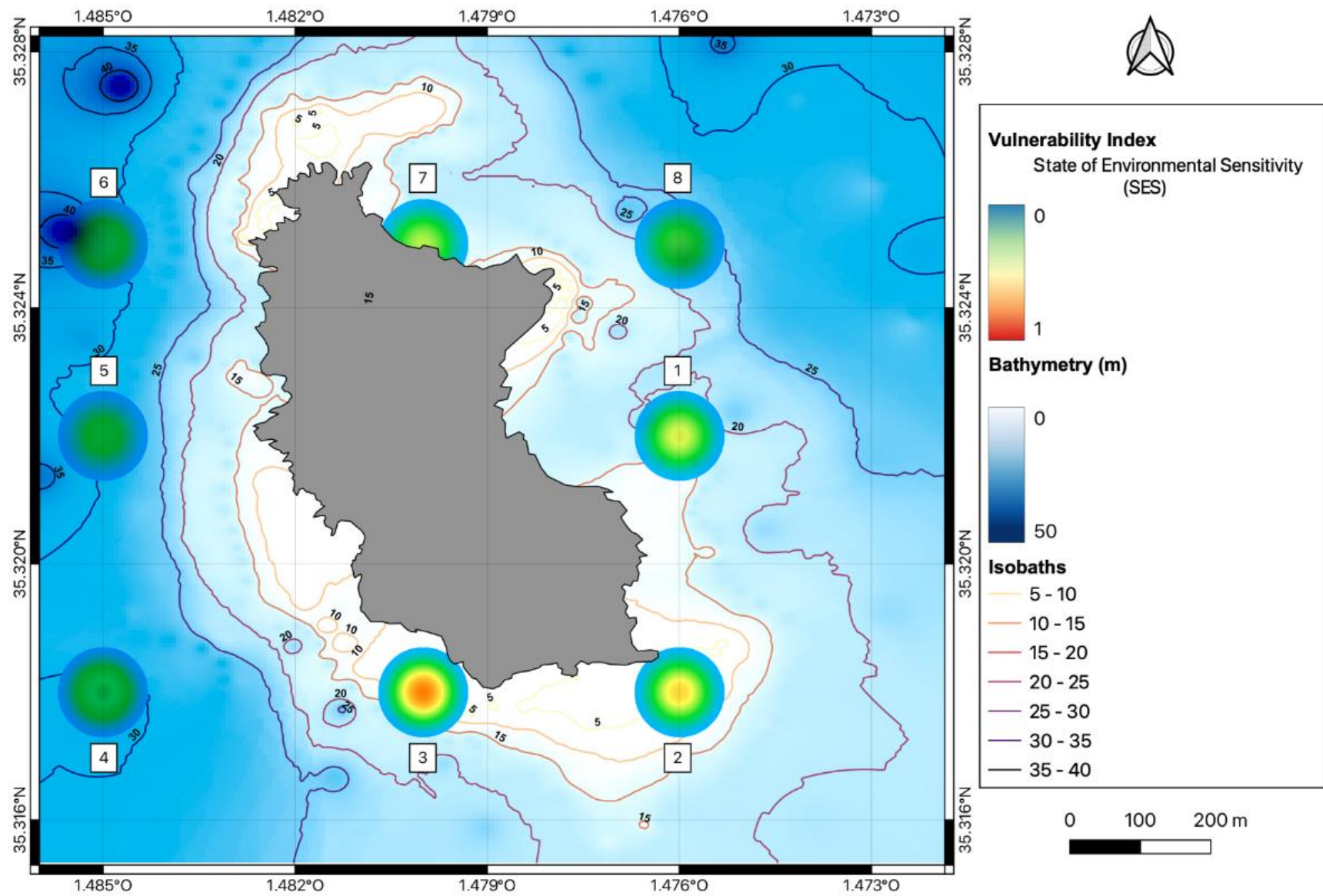


Figure 36 : Cartographie de l'indice globale de vulnérabilité du milieu

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Conclusion générale

L'étude menée sur l'île de Rachgoun s'inscrit dans une démarche intégrée d'évaluation de la vulnérabilité écologique des milieux insulaires méditerranéens. À travers la mise en place de bases de données structurées et l'utilisation d'outils SIG, ce travail a permis de croiser des données taxinomiques, écosystémiques et anthropiques pour dresser un diagnostic complet de cet espace naturel stratégique.

Les résultats montrent que l'île de Rachgoun, malgré sa richesse écologique remarquable, est soumise à de multiples pressions liées aux activités humaines (pollution, pêche, tourisme) et aux changements environnementaux (érosion, élévation du niveau marin). Les habitats remarquables, tels que les herbiers de *Posidonia oceanica* ou les formations coralligènes, y apparaissent fragmentés, vulnérables et parfois en régression. Parallèlement, la présence d'espèces protégées et endémiques, conjuguée à la fragilité du système écologique local, souligne l'importance de renforcer les efforts de conservation.

Ce travail a également démontré l'intérêt de l'approche par systèmes d'information géographique (SIG) et bases de données relationnelles pour l'analyse environnementale. Ces outils permettent de spatialiser les dynamiques, de visualiser les interactions écologiques et de guider les décisions d'aménagement et de protection.

L'approche méthodologique adoptée offre une grande souplesse d'adaptation à d'autres contextes insulaires. Grâce à sa structure modulaire, elle peut être généralisée à diverses îles méditerranéennes ou tropicales, pour peu que les données locales soient disponibles ou mobilisables. Son intégration d'indicateurs biologiques, physiques et anthropiques facilite la comparaison inter-sites et le suivi temporel. La standardisation des formats de données favorise en outre la compatibilité entre système avec des dispositifs d'observation régionaux. Cette méthodologie constitue ainsi un outil opérationnel au service des politiques de gestion durable, aussi bien pour le diagnostic que pour l'aide à la décision. Elle pourrait, à terme, alimenter des réseaux d'alerte ou des plateformes de gouvernance environnementale à échelle régionale.

Perspectives

Plusieurs pistes de réflexion et d'amélioration peuvent être dégagées à l'issue de ce travail :

- **Approfondissement temporel** : Il serait pertinent d'élargir cette étude à une analyse diachronique, en intégrant des séries temporelles (imagerie satellite, relevés historiques) afin de suivre l'évolution des pressions et de la biodiversité dans le temps.
- **Renforcement des données biologiques** : La base taxinomique pourrait être enrichie par des données génétiques (barcoding, ADN environnemental) et fonctionnelles, pour mieux comprendre les interactions écologiques et les réseaux trophiques de l'écosystème marin.
- **Extension territoriale** : Une généralisation de la méthodologie à d'autres îles ou zones côtières de la façade ouest algérienne permettrait de créer un réseau de diagnostics comparatifs, essentiel pour définir des priorités de conservation à l'échelle régionale.
- **Scénarios prospectifs** : L'intégration de modèles prédictifs (élévation du niveau de la mer, intensification des activités humaines, scénarios climatiques) dans les bases de données existantes permettrait d'évaluer les trajectoires futures possibles de l'écosystème de Rachgoun.

Conclusion

- Valorisation participative : Le développement de plateformes interactives intégrant les données spatiales, ouvertes aux chercheurs, gestionnaires et citoyens, renforcerait la transparence scientifique et l'implication des acteurs locaux dans la gestion durable de l'île.
- Appui à la gouvernance : Enfin, les résultats obtenus pourraient être mobilisés pour proposer un plan de gestion écologique spécifique à l'île de Rachgoun, en lien avec les autorités locales, les ONG de conservation et les chercheurs impliqués dans la région.

Références bibliographiques

Adger, W.N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16(3), p.p.268–281.

Annexe 2 Normes environnementales pour la conservation du cadre de vie (espaces marins) -Ministere de l'environnement Japonais

Asare-Marfo, D., Birol, E et al., (2013). Prioritizing countries for biofortification interventions using country-level data. HarvestPlus Working Paper. International Food Policy Research Institute (IFPRI).

Beliaeff B., G. Bouvet et al., (2011). Guide pour le suivi de la qualité du milieu marin en Nouvelle-Calédonie. Programme ZONECO et programme CNRT Le Nickel. 169 pages.

Benallal, M., Sidi Mohamed, R., & Laouar, S. (2023). Évaluation écologique des herbiers de *Posidonia oceanica* autour de l'île de Rachgoun. [Rapport technique, Université d'Oran].

Benhamiche-Hanifi, S., & Moulai, R. (2012). Analyse des phytocénoses des systèmes insulaires des régions de Béjaïa et Jijel en présence du goéland leucophée. HAL Archives ouvertes.

Bensalem, F. (2016). Vulnérabilité des infrastructures côtières d'Oran face aux effets du changement climatique et à la montée du niveau marin. *Revue Méditerranée*, OpenEdition Journals.

Bentaallah, S., Ouchen, K., & Berkani, A. (2022). Cartographie des habitats benthiques autour de l'île de Rachgoun : intégration SIG et données bathymétriques. *Bulletin de l'Institut National des Sciences Marines*, 18(1), p.p.25–37.

Benzaken, D., Renard, Y. (2011). IUCN Perspectives biodiversité outre-mer. PDF

Bernard, A. (1894). *L'archipel de la Nouvelle-Calédonie*. Hachette.

Bernard, J., Coïc, C., et al., (2008). Les bases de données écologiques : outil d'analyse et de gestion de la biodiversité insulaire. *Revue d'Écologie (Terre et Vie)*, 63(2), p.p.149–162.

Béthoux, J. P. (1984). Paléo-hydrologie de la Méditerranée au cours des derniers 20 000 ans. *Oceanologica acta*, 7(1), p.p.43-48.

Biju-Duval, B. (1999). Géologie sédimentaire : bassins, environnements de dépôts, formation du pétrole. Editions Technip. [en ligne] [consulte le 26/03/2025] disponible sur : <https://books.google.dz/books?id=CUKeCgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=fr#v=onepage&q&f=false>

Bost, F. (2018). Bases de données relationnelles : concepts et mise en œuvre. Éditions Vuibert.

Bouamar, B. (2024). État écologique et bathymétrie autour de l'île de Rachgoun. [Mémoire universitaire, Université d'Oran].

Bouët, A., Calvo, F et al., (2022). Assessing the contribution of PIM to strengthening the capacity of developing country representatives to represent their interests in trade negotiations related to agriculture. International Food Policy Research Institute (IFPRI). [en ligne] [Consulte le 28/03/2025] disponible sur : <https://books.google.com/books?id=EVx9EAAAQBAJ>

Boudjellal-Kaidi, N. (2003). Étude de la faune carcinologique des fonds meubles de l'île Rachgoun (Beni-Saf, ouest Algérien). Mémoire d'ingénieur d'état en océanographie (écologie marine), ISMAL (Alger), 65p + annexes.

Références Bibliographiques

- Bouras, D., Khelifi, F., & Ayad, A. (2013).** Composition and spatial distribution of molluscs and echinoderms in the marine environment of Rachgoun Island (Western Algeria). *Mediterranean Marine Science*, 14(1), p.p.103–115.
- Bouزيد, A. (2015).** Évaluation de la vulnérabilité côtière à Alger face au risque de submersion marine à l'aide des SIG et modèles numériques de terrain. Thèse, Université des Sciences et Technologies Houari Boumédiène, Alger.
- Burac, M. (2010).** Gouvernance et biodiversité insulaire. OpenEdition
Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec, 2016
- Chabane, S. (2021).** Évaluation de la dynamique du trait de côte dans la wilaya de Skikda par télédétection et SIG. [en ligne]. [consulte le 26/03/2025]
- Ciampi, M., Chiaravalloti, M., & Gallo, L. (2019).** Database Management and Data Modeling. Springer.
- Clough, T. J., & Condrón, L. M. (2010).** Biochar and the nitrogen cycle: Introduction. *Journal of Environmental Quality*, 39(4), p.p.1218–1223
- Convention sur la Diversité Biologique (CBD). (2006). (2010) *Global Biodiversity Outlook 2*.**
- Cooper, J. A. G., & Pilkey, O. H. (2004).** Sea-level rise and shoreline retreat: Time to abandon the Bruun Rule. *Global and Planetary Change*, 43(3–4), p.p.157–171.
- Courchamp, F., Chapuis, J.-L et al., (2003).** Introduced predators and biodiversity: conservation on islands. *Ecology Letters*, 6(9), p.p.812–818.
- Crisci, C., Bensoussan, N et al., (2011).** Temperature anomalies and mortality events in marine communities: insights on factors behind differential mortality impacts in the NW Mediterranean. *PLOS ONE*, 6(9), e23814.
- Dagany, X., Lasserre, G., & Rochette, S. (2001).** Suivi environnemental du milieu marin : apports des bases de données et de la télédétection. *Revue d'Écologie (Terre et Vie)*, 56(3), p.p.189–203.
- Degrigny, C., Lemoine, P., & Fléty, E. (2017).** Systèmes d'information pour l'analyse environnementale : exploitation et visualisation des données. Lavoisier.
- Delanoë, O., De Montmollin, B., & Olivier, L. (1996).** Conservation of Mediterranean island plants. v. 1: Strategy for action.
- Delanoë, O., et al. (1996).** Écologie des îles de Méditerranée.
- Dénécé, É. (2000).** Geostratégie de la Mer de chine méridionale.
- Docteur, D. (2014).** Gestion de la biodiversité aux îles Kuriat. IRD
- Duvat, V. (2020).** « Récif corallien », Géoconfluences, ENS de Lyon. [En ligne]. [consulte le 17/03/2025]
- Duvat, V. (2024).** Does the climate crisis create a situation of urgency in atolls?. *Géoconfluences*.
- Duvat, V. K. E., Magnan, A. K et al., (2017).** *Les littoraux face au changement climatique : vulnérabilité des territoires et des sociétés*. Éditions Quae.
- Fauvel, P. (1923).** Polychètes sédentaires. Addenda aux errantes, archiannélides, myzostomaires. Faune de France, 5. Paris: Office Central de Faunistique.

Références Bibliographiques

- Ferraris, J., Meyer, J.-Y et al., (2006).** *Suivi des phénomènes bio-invasifs à Moorea*. IRD.
- Fritzsche, M., Li, D et al., (2017).** Self-organizing actin patterns shape membrane architecture but not cell mechanics. *Nature Communications*, 8, 14347.
- Gardarin, G. (2003).** Bases de données : Concepts, usages et architectures. Paris : Eyrolles.
- GBIF.org. (2024).** Global Biodiversity Information Facility. <https://www.gbif.org>
- Ghilardi, M., Psomiadis, D et al., (2012).** The impact of rapid early-to mid-Holocene palaeoenvironmental changes on Neolithic settlement at Nea Nikomideia, Thessaloniki Plain, Greece. *Quaternary International*, 261, p.p.49–61
- Gornitz, V. (1991).** Global coastal hazards database. NASA Goddard Institute for Space Studies.
- Grimes, S. (2004).** Biodiversité marine et littorale Algérienne.
- Grimes S., Semroud R., Bakalem A., Boumaza S., Ould Ahmed N., Kaïdi N., Boukhalfa D., Khelifi H., (2005).** Les îles Habibas : Pôle de la biodiversité de la région méditerranéenne, espace à protéger. International workshop proceedings: Marine and coastal protected Areas, Meknès - Morocco, 23-25 March, 2005, Edt. A. Chouikhi & M. Menioui, p.p.101-111.
- Guettouche, M., et al. (2020).** Étude de la dégradation des écosystèmes côtiers dans la région de Jijel sous l'effet de l'urbanisation et du tourisme.
- Hainaut, J.-L. (2009).** Conception des bases de données : du modèle logique au schéma physique. De Boeck Supérieur.
- Hellenic National Oceanographic Data Centre. (2024).** POSEIDON System Data Portal. <https://www.hmodc.forth.gr>
- Ibanez, T., et al. (2014).** *Endémisme floristique en Nouvelle-Calédonie*. *Cahiers d'Outre-Mer*.
- IFREMER, SHOM, & OFB. (2020).** Couches Objectifs Sensibles – COS.
- IFREMER, SHOM, & Office Français de la Biodiversité (OFB). (2020).** Inventaire des zones côtières sensibles du littoral français.
- Keraghel, M.A. (2022).** Pollution chimique [Support de cour Pollution marine et anthropisation].
- Koroglu, A., Ranasinghe, R et al., (2019).** Comparison of coastal vulnerability index applications for Barcelona Province. *Ocean & Coastal Management*, 178, 104812.
- Kumar, S., Stecher, G et al., (2018).** MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Molecular Biology and Evolution*, 35(6), p.p.1547–1549.
- Kurniawan, F., Adrianto, L et al., (2016).** Vulnerability assessment of small islands to tourism: The case of the Marine Tourism Park of the Gili Matra Islands, Indonesia. *Global Ecology and Conservation*, 6, p.p.308–326.
- La Rivière, M., Aish, A et al. (2015).** Méthodologie pour l'évaluation de la sensibilité des habitats benthiques aux pressions anthropiques (Doctoral dissertation, Service du patrimoine naturel ; Muséum national d'Histoire Naturelle (Paris, France)).
- Lalongé, C. (2024).** Caractérisation de l'impact de l'utilisation des mers et des côtes sur la qualité des écosystèmes en analyse de cycle de vie. Université du Québec à Montréal.
- Lévêque, C., & Mounolou, J.C. (2008).** *Biodiversité : dynamique biologique et conservation*. Dunod.

Références Bibliographiques

- Levrel, H., Fontaine, B et al., (2010).** Le système d'information sur la biodiversité marine : apport du WoRMS. *Natures Sciences Sociétés*, 18(1), p.p.52–61.
- Levrel, H., Fontaine, B., et al., (2010).** Vers une évaluation intégrée de la biodiversité : réflexions sur les indicateurs, les fonctions et les valeurs. *Revue d'Écologie (Terre et Vie)*, 65(1), p.p.29–44.
- Li, X., Xing, Y et al., (2009).** Antimicrobial activities of ZnO powder-coated PVC film to inactivate food pathogens. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(11), p.p.2161–2168.
- MacArthur, R.H., & Wilson, E.O. (1967).** *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press.
- Mathelin, E. (2013).** Les lacs insulaires du sud-ouest de l'océan indien, un enjeu pour la gestion durable de la ressource en eau (Doctoral dissertation, Université d'Orléans).
- McLennan, S. M., & Taylor, S. R. (1996).** Heat flow and the chemical composition of continental crust. *The Journal of Geology*, 104(3), p.p.377–386.
- Medail, F., & Quézel, P. (1997).** Hot-spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean Basin. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, p.p.112-127.
- Médail, F., & Quézel, P. (1999).** Biodiversité et endémisme dans les îles de Méditerranée. *Biological Conservation*, 89(2), p.p.221–233.
- Médail, F., & Quézel, P. (1999).** Biodiversité végétale des îles méditerranéennes.
- Meynard, C. N., & Dendoncker, N. (2015).** Approches spatiales pour la gestion environnementale : applications aux systèmes socio-écologiques. CNRS Éditions.
- Moigne, F. A. C., Gallinari, M., & Laurenceau, E. (2016).** Monitoring of microplastics in marine environments using structured environmental databases. *Marine Pollution Bulletin*, 113(1-2), p.p.56–64.
- Monaco, A., & Prouzet, P. (2014).** Value and economy of marine resources. John Wiley & Sons.
- Moulai, R., Bensaci, E., et al., (2015).** Inventaire des petits mammifères et oiseaux nicheurs sur les îles côtières d'Algérie. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie*, 37, p.p.33–41.
- Moulai, R., Doumandji, S et al., (2015).** Structure de la faune terrestre de l'île de Rachgoun (Algérie occidentale). *Revue Algérienne des Sciences Animales*, 1(2), p.p.67–74.
- Moussaoui, Y. N., et al., (2025).** Assessment of insular vulnerability in Southwestern Mediterranean countries: Case of Sidi Fredj in Algeria. *Geo-Eco-Marina*. Advance online publication.
- Myers, N., et al. (2000).** Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403(6772), p.p.853–858.
- Nguyen, H. T. (1986).** *Data Integration in Distributed Systems*. Prentice Hall.
- Noorbakhsh, F. (1998).** A modified human development index. *World Development*, 26(3), p.p.517–528.
- OBIS.org. (2024).** Ocean Biogeographic Information Systems.
- OFB (Office Français de la Biodiversité). (2020).** *État des milieux côtiers français*.
- Oquendo, F. (1990).** Sécurité des systèmes d'information : contrôle d'accès et protection des données. Éditions Techniques et Scientifiques Françaises.

Références Bibliographiques

- Ouahil, A. (2017).** Etat de la pollution par matières particulaires et dissoutes dans le système fluvio-marin d'Oued Mazafran-embouchure (baie de Bousmail). Thèse de doctorat.
- Parenzan, P. (1974).** Atlante malacologico delle coste pugliesi: Conchiglie del litorale tarantino. Taranto: Congedo Editore
- Passetti, A., Aboucaya, A., et al., (2012).** Restauration écologique de la Réserve intégrale de l'île de Bagaud (Parc national de Port-Cros, Var, France) et "état zéro" des suivis scientifiques: synthèse méthodologique. *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, 26, p.p.149-171.6
- Payus, C. M., Herman, F et al., (2022).** Combined climate impacts and vulnerability index on coastal ecosystems in prediction of future scenarios: extended sustainable indicator tool for adaptive strategy. *SN Applied Sciences*, 4(4), 85.
- Pecquet, J. (2022).** Les services écosystémiques des habitats benthiques de la Manche : patrons, modélisation et scénarisation dans un contexte de changement global [Thèse de doctorat, Université de Caen Normandie]. HAL.
- Picard, C. (2022).** SIG et cartographie environnementale.
- Pinay, G., Bernal, S., (2018).** Riparian corridors: A new conceptual framework for assessing nitrogen buffering across biomes. *Frontiers in Environmental Science*, 6, 47.
- Prat, N. (2021).** Vers une intégration des bases de données hybrides dans l'analyse contextuelle de données spatiales. *Revue des Sciences et Technologies de l'Information, Série RIA*, 35(2), p.p.115–136.
- Ramieri, E., Hartley, A et al., (2011).** Methods for assessing coastal vulnerability to climate change. ETC CCA Technical Paper 1/2011. European Environment Agency (EEA)
- Riedl, R. (1991).** Fauna und Flora des Mittelmeeres. Hamburg: Paul Parey Verlag.
- Saaty, T. L. (1980).** The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill.
- Sabinot, C. et al. (2019).** Vulnérabilité écologique des îles.
- Sabinot, C., Jourdan, H et al., (2019).** *Biodiversité en Océanie*. HAL. [PDF](#)
- Schröter, D., Cramer, W et al., (2005).** Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science*, 310(5752), p.p.1333–1337.
- Silhadi, M. A., Refes, W et al., (2020).** Assessment of coastal ecosystems vulnerability to pollution: Algiers coast, Algeria. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(34), p.p.42670-42684.
- Skalar Analytical B.V. (1998).** Skalar San++ Continuous Flow Analyzer: Methods and Applications Manual. Breda, The Netherlands: Skalar Analytical B.V.
- Small, C., & Nicholls, R. J. (2003).** A global analysis of human settlement in coastal zones. *Journal of Coastal Research*, 19(3), p.p.584–599.
- Soubelet H., Delavaud A., et al., (2023).** Biodiversité et changement climatique : Impacts sur la biodiversité, les écosystèmes français et les services écosystémiques. Recommandations pour l'adaptation de la biodiversité. Synthèse de connaissances. Fondation pour la recherche sur la biodiversité
- Topuz, E., & Van Gestel, C. A. M. (2016).** An approach for environmental risk assessment of engineered nanomaterials using Analytical Hierarchy Process (AHP) and fuzzy inference rules. *Environment International*, p.p.92–93, p.p.334–347.

Références Bibliographiques

- Triplet, P. (2015).** Dictionnaire de la diversité biologique et de la conservation de la nature.
- Turner, B. et al. (2003).** A framework for vulnerability analysis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Ughetto, P. (2013).** Introduction aux bases de données relationnelles. Dunod.
- UNEP-WCMC. (2016).** *Biodiversity and the Small Island Developing States*.
- Vafeidis, A. T., Nicholls, R. J., et al., (2008).** A new global coastal database for impact and vulnerability analysis to sea-level rise. *Global and Planetary Change*, 64(1–2), p.p.50–70.
- Véla, E. (2017).** Flore vasculaire des îlots et îles du littoral algérien : inventaire, distribution et éléments biogéographiques. *Acta Botanica Malacitana*, 42, p.p.83–101.
- Whittaker, R.J., & Fernández-Palacios, J.M. (2007).** *Island Biogeography: Ecology, Evolution, and Conservation*. Oxford University Press.
- WoRMS. (2024).** World Register of Marine Species.
- Xie, X., He, Z et al., (2019).** The roles of environmental factors in regulation of oxidative stress in plant. *BioMed Research International*, 2019, 9732325
- Yahia Meddah, A., Tighilt, N., & Hamou, N. (2023).** Application du Coastal Vulnerability Index (CVI) à l'île de Rachgoun. *Actes du Colloque Méditerranéen sur la Résilience Côtière*, p.p.32–40.
- Yoo, J., & Kim, M. (2014).** The effects of online product presentation on consumer responses: A mental imagery perspective. *Journal of Business Research*, 67(9), 2009–2015.
- Zhou, S., Butler-Laporte, G et al., (2021).** A Neanderthal OAS1 isoform protects individuals of European ancestry against COVID-19 susceptibility and severity. *Nature Medicine*, 27(4), p.p.659–667.

Annexes

Annexe 1

family	Nb esp	genus	valid_name
Amphinomidae	1	Hermodice	<i>Hermodice carunculata</i>
Onuphidae	1	Hyalinoecia	<i>Hyalinoecia tubicola</i>
Sabellidae	1	Sabella	<i>Sabella spallanzanii</i>
Serpulidae	2	Filograna	<i>Filograna implexa</i>
		Protula	<i>Protula intestinum</i>
Aristeidae	2	Aristaeomorpha	<i>Aristaeomorpha foliacea</i>
		Aristeus	<i>Aristeus antennatus</i>
Diogenidae	3	Clibanarius	<i>Clibanarius erythropus</i>
		Dardanus	<i>Dardanus arrosor</i>
			<i>Dardanus calidus</i>
Eriphiidae	1	Eriphia	<i>Eriphia verrucosa</i>
Grapsidae	1	Pachygrapsus	<i>Pachygrapsus marmoratus</i>
Majidae	1	Maja	<i>Maja squinado</i>
Nephropidae	2	Homarus	<i>Homarus gammarus</i>
		Nephrops	<i>Nephrops norvegicus</i>
Palaemonidae	1	Palaemon	<i>Palaemon serratus</i>
Palinuridae	1	Palinurus	<i>Palinurus elephas</i>
Pandalidae	1	Plesionika	<i>Plesionika</i>
Penaeidae	2	Parapenaeus	<i>Parapenaeus longirostris</i>
		Penaeus	<i>Penaeus (Melicertus) kerathurus</i>
Pilumnidae	1	Pilumnus	<i>Pilumnus hirtellus</i>
Polybiidae	1	Liocarcinus	<i>Polybius depurator</i>
Porcellanidae	1	Porcellana	<i>Porcellana platycheles</i>
Scyllaridae	2	Scyllarides	<i>Scyllarides latus</i>
		Scyllarus	<i>Scyllarus arctus</i>
Xanthidae	1	Xantho	<i>Xantho poressa</i>
Cymothoidae	1	Anilocra	<i>Anilocra physodes</i>
Ligiidae	1	Ligia	<i>Ligia italica</i>
Squillidae	1	Squilla	<i>Squilla mantis</i>
Balanidae	1	Balanus	<i>Perforatus perforatus</i>
Balanidae	1	Perforatus	<i>Perforatus perforatus</i>
Chthamalidae	1	Chthamalus	<i>Chthamalus montagui</i>
Adeonidae	1	Reptadeonella	<i>Reptadeonella violacea</i>
Bitectiporidae	2	Pentapora	<i>Pentapora fascialis</i>
		Schizomavella	<i>Schizomavella</i>
Candidae	1	Cradoscrupocellaria	<i>Cradoscrupocellaria reptans</i>
Celleporidae	1	Turbicellepora	<i>Turbicellepora avicularis</i>
Myriaporidae	1	Myriapora	<i>Myriapora truncata</i>
Smittinidae	1	Smittina	<i>Smittina cervicornis</i>
Vesiculariidae	1	Amathia	<i>Amathia verticillata</i>
Fron diporidae	1	Fron dipora	<i>Fron dipora verrucosa</i>
Clavelinidae	1	Clavelina	<i>Clavelina lepadiformis</i>
Didemnidae	1		<i>Didemnidae</i>
Polyclinidae	2	Aplidium	<i>Aplidium conicum</i>
		Aplidium	<i>Aplidium elegans</i>
Asciidiidae	1	Phallusia	<i>Phallusia mammillata</i>
Pyuridae	2	Halocynthia	<i>Halocynthia papillosa</i>
		Pyura	<i>Pyura dura</i>
Carcharhinidae	1	Prionace	<i>Prionace glauca</i>
Pentanchidae	1	Galeus	<i>Galeus melastomus</i>
Scyliorhinidae	2	Scyliorhinus	<i>Scyliorhinus canicula</i>
			<i>Scyliorhinus stellaris</i>
Triakidae	1	Mustelus	<i>Mustelus mustelus</i>
Dasyatidae	1	Dasyatis	<i>Dasyatis pastinaca</i>
Myliobatidae	1	Myliobatis	<i>Myliobatis aquila</i>
Rajidae	1	Raja	<i>Raja</i>
Dalatiidae	1	Dalatias	<i>Dalatias licha</i>
Squatinae	1	Squatina	<i>Squatina squatina</i>
Torpedinidae	1	Torpedo	<i>Torpedo marmorata</i>
Chimaeridae	1	Chimaera	<i>Chimaera monstrosa</i>

Annexes

Caproidae	1	Capros	<i>Capros aper</i>
Anguillidae	1	Anguilla	<i>Anguilla anguilla</i>
Congridae	2	Ariosoma	<i>Ariosoma balearicum</i>
		Conger	<i>Conger conger</i>
Muraenidae	1	Muraena	<i>Muraena helena</i>
Argentinidae	1	Argentina	<i>Argentina sphyraena</i>
Atherinidae	1	Atherina	<i>Atherina boyeri</i>
Chlorophthalmidae	1	Chlorophthalmus	<i>Chlorophthalmus agassizi</i>
Notosudidae	1	Scopelosaurus	<i>Scopelosaurus lepidus</i>
Paralepididae	1	Arctozenus	<i>Arctozenus risso</i>
Blenniidae	9	Aidablennius	<i>Aidablennius sphynx</i>
		Coryphoblennius	<i>Coryphoblennius galerita</i>
		Lipophrys	<i>Lipophrys trigloides</i>
			<i>Parablennius gattorugine</i>
			<i>Parablennius rouxi</i>
			<i>Parablennius sanguinolentus</i>
Salaria	<i>Salaria pavo</i>		
Scartella	<i>Scartella cristata</i>		
Tripterygiidae	4	Tripterygion	<i>Tripterygion delaisi</i>
			<i>Tripterygion melanurus</i>
			<i>Tripterygion tripteronotum</i>
			<i>Tripterygion tripteronotum</i>
Sphyraenidae	2	Sphyraena	<i>Sphyraena sphyraena</i>
			<i>Sphyraena viridensis</i>
Carangidae	6	Caranx	<i>Caranx rhonchus</i>
		Lichia	<i>Lichia amia</i>
		Seriola	<i>Seriola dumerili</i>
		Trachinotus	<i>Trachinotus ovatus</i>
		Trachurus	<i>Trachurus mediterraneus</i>
<i>Trachurus trachurus</i>			
Coryphaenidae	1	Coryphaena	<i>Coryphaena hippurus</i>
Xiphiidae	1	Xiphias	<i>Xiphias gladius</i>
Alosidae	1	Sardina	<i>Sardina pilchardus</i>
Dorosomatidae	1	Sardinella	<i>Sardinella aurita</i>
Engraulidae	1	Engraulis	<i>Engraulis encrasicolus</i>
Cepolidae	1	Cepola	<i>Cepola macrophthalma</i>
Labridae	7	Coris	<i>Coris julis</i>
		Symphodus	<i>Symphodus cinereus</i>
			<i>Symphodus mediterraneus</i>
			<i>Symphodus ocellatus</i>
			<i>Symphodus roissali</i>
			<i>Symphodus tinca</i>
Thalassoma	<i>Thalassoma pavo</i>		
Moronidae	1	Dicentrarchus	<i>Dicentrarchus labrax</i>
Sciaenidae	2	Sciaena	<i>Sciaena umbra</i>
		Umbrina	<i>Umbrina cirrosa</i>
Sparidae	21	Boops	<i>Boops boops</i>
		Dentex	<i>Dentex dentex</i>
			<i>Dentex gibbosus</i>
			<i>Dentex maroccanus</i>
		Diplodus	<i>Diplodus annularis</i>
			<i>Diplodus cervinus</i>
			<i>Diplodus puntazzo</i>
			<i>Diplodus sargus</i>
			<i>Diplodus sargus</i>
			<i>Diplodus vulgaris</i>
		Lithognathus	<i>Lithognathus mormyrus</i>
		Oblada	<i>Oblada melanurus</i>
		Pagellus	<i>Pagellus acarne</i>
			<i>Pagellus bogaraveo</i>
<i>Pagellus erythrinus</i>			
Pagrus	<i>Pagrus pagrus</i>		
Sarpa	<i>Sarpa salpa</i>		

Annexes

		Sparus	<i>Sparus aurata</i>
		Spicara	<i>Spicara maena</i>
		Spicara	<i>Spicara smaris</i>
		Spondylisoma	<i>Spondylisoma cantharus</i>
Gadidae	1	Micromesistius	<i>Micromesistius poutassou</i>
Macrouridae	3	Coelorinchus	<i>Coelorinchus caelorhincus</i>
		Nezumia	<i>Nezumia aequalis</i>
		Trachyrincus	<i>Trachyrincus scabrus</i>
Merlucciidae	1	Merluccius	<i>Merluccius merluccius</i>
Phycidae	2	Phycis	<i>Phycis blennoides</i>
			<i>Phycis phycis</i>
Gobiesocidae	1	Lepadogaster	<i>Lepadogaster lepadogaster</i>
Gobiidae	4	Gobius	<i>Gobius bucchichi</i>
			<i>Gobius cobitis</i>
			<i>Gobius niger</i>
			<i>Gobius paganellus</i>
Apogonidae	1	Apogon	<i>Apogon imberbis</i>
Lophiidae	2	Lophius	<i>Lophius budegassa</i>
			<i>Lophius piscatorius</i>
Mugilidae			<i>Mugilidae</i>
Mullidae	2	Mullus	<i>Mullus barbatus</i>
			<i>Mullus surmuletus</i>
Myctophidae	7	Benthoosema	<i>Benthoosema glaciale</i>
		Hygophum	<i>Hygophum benoiti</i>
		Lampanyctus	<i>Lampanyctus crocodilus</i>
		Lobianchia	<i>Lobianchia dofleini</i>
		Myctophum	<i>Myctophum punctatum</i>
		Nannobranchium	<i>Nannobranchium ater</i>
Notoscopelus	<i>Notoscopelus elongatus</i>		
Pomacentridae	1	Chromis	<i>Chromis chromis</i>
Epinephelidae	3	Epinephelus	<i>Epinephelus costae</i>
			<i>Epinephelus marginatus</i>
		Mycteroperca	<i>Mycteroperca rubra</i>
Scorpaenidae	3	Scorpaena	<i>Scorpaena notata</i>
			<i>Scorpaena porcus</i>
			<i>Scorpaena scrofa</i>
Sebastidae	1	Helicolenus	<i>Helicolenus dactylopterus</i>
Serranidae	3	Serranus	<i>Serranus cabrilla</i>
			<i>Serranus hepatus</i>
			<i>Serranus scriba</i>
Trachinidae	2	Trachinus	<i>Trachinus araneus</i>
			<i>Trachinus draco</i>
Triglidae	3	Chelidonichthys	<i>Chelidonichthys cuculus</i>
		Eutrigla	<i>Eutrigla gurnardus</i>
		Trigla	<i>Trigla lyra</i>
Uranoscopidae	1	Uranoscopus	<i>Uranoscopus scaber</i>
Bothidae	2	Arnoglossus	<i>Arnoglossus laterna</i>
		Bothus	<i>Bothus podas</i>
Citharidae	1	Citharus	<i>Citharus linguatula</i>
Soleidae	1	Solea	<i>Solea solea</i>
Centrolophidae	1	Centrolophus	<i>Centrolophus niger</i>
Pomatomidae	1	Pomatomus	<i>Pomatomus saltatrix</i>
Scombridae	8	Auxis	<i>Auxis rochei</i>
		Euthynnus	<i>Euthynnus alletteratus</i>
		Katsuwonus	<i>Katsuwonus pelamis</i>
		Sarda	<i>Sarda sarda</i>
		Scomber	<i>Scomber colias</i>
			<i>Scomber scombrus</i>
Thunnus	<i>Thunnus alalunga</i>		
	<i>Thunnus thynnus</i>		
Trichiuridae	1	Lepidopus	<i>Lepidopus caudatus</i>
Phosichthyidae	1	Vinciguerra	<i>Vinciguerra poweriae</i>
Sternoptychidae	3	Maurolicus	<i>Maurolicus muelleri</i>
		Sternoptyx	<i>Sternoptyx diaphana</i>

Annexes

			<i>Sternoptyx pseudobscura</i>
Syngnathidae	2	Hippocampus	<i>Hippocampus guttulatus</i> <i>Hippocampus hippocampus</i>
Trachichthyidae	1	Hoplostetetus	<i>Hoplostethus mediterraneus</i>
Zeidae	1	Zeus	<i>Zeus faber</i>
Actiniidae	3	Actinia	<i>Actinia cari</i> <i>Actinia equina</i>
		Anemonia	<i>Anemonia viridis</i>
Aiptasiidae	1	Aiptasia	<i>Aiptasia mutabilis</i>
Corallimorphidae	1	Corynactis	<i>Corynactis viridis</i>
Caryophylliidae	3	Caryophyllia	<i>Caryophyllia (Caryophyllia) inornata</i> <i>Caryophyllia (Caryophyllia) smithii</i>
		Phyllangia	<i>Phyllangia americana mouchezii</i>
Cladocoridae	2	Cladocora	<i>Cladocora arbuscula</i> <i>Cladocora caespitosa</i>
Dendrophylliidae	4	Astroides	<i>Astroides calycularis</i>
		Balanophyllia	<i>Balanophyllia (Balanophyllia) regia</i>
		Dendrophyllia	<i>Dendrophyllia ramea</i>
		Leptopsammia	<i>Leptopsammia pruvoti</i>
Parazoanthidae	2	Parazoanthus	<i>Parazoanthus axinellae</i>
		Savalia	<i>Savalia savaglia</i>
Aglaopheniidae	1	Aglaophenia	<i>Aglaophenia</i>
Haleciidae	1	Halecium	<i>Halecium</i>
Plumulariidae	1	Nemertesia	<i>Nemertesia antennina</i>
Sertularellidae	1	Sertularella	<i>Sertularella</i>
Acanthogorgiidae	1	Paramuricea	<i>Paramuricea clavata</i> <i>Alcyonium acaule</i>
Alcyoniidae	3	Alcyonium	<i>Alcyonium coralloides</i> <i>Alcyonium palmatum</i>
Clavulariidae	1	Clavularia	<i>Clavularia crassa</i>
Eunicellidae	4	Eunicella	<i>Eunicella cavolini</i> <i>Eunicella gazella</i> <i>Eunicella singularis</i> <i>Eunicella verrucosa</i>
Gorgoniidae	1	Leptogorgia	<i>Leptogorgia sarmentosa</i>
Plexauridae	1	Swiftia	<i>Callistephanus pallida</i>
Ellisellidae	1	Ellisella	<i>Ellisella paraplexauroides</i>
Pennatulidae	1	Pennatula	<i>Pennatula rubra</i>
Veretillidae	1	Veretillum	<i>Veretillum cynomorium</i>
Asteriidae	1	Coscinasterias	<i>Coscinasterias tenuispina</i>
Astropectinidae	1	Astropecten	<i>Astropecten aranciacus</i>
Echinasteridae	2	Echinaster	<i>Echinaster (Echinaster) sepositus</i>
		Henricia	<i>Henricia oculata</i>
Asterinidae	1	Asterina	<i>Asterina gibbosa</i>
Chaetasteridae	1	Chaetaster	<i>Chaetaster longipes</i>
Ophidiasteridae	2	Ophidiaster	<i>Ophidiaster granifer</i> <i>Ophidiaster ophidianus</i>
Antedonidae	1	Antedon	<i>Antedon mediterranea</i>
Arbaciidae	1	Arbacia	<i>Arbacia lixula</i>
Echinidae	1	Echinus	<i>Echinus melo</i>
Parechinidae	1	Paracentrotus	<i>Paracentrotus lividus</i>
Toxopneustidae	1	Sphaerechinus	<i>Sphaerechinus granularis</i>
Diadematidae	1	Centrostephanus	<i>Centrostephanus longispinus</i>
Brissidae	1	Brissus	<i>Brissus unicolor</i> <i>Holothuria forskali</i>
Holothuriidae	3	Holothuria	<i>Holothuria (Platyperona) sanctori</i> <i>Holothuria (Holothuria) tubulosa</i>
Stichopodidae	1	Parastichopus	<i>Parastichopus regalis</i>
Gorgonocephalidae	1	Astrospartus	<i>Astrospartus mediterraneus</i>
Ophiotomidae	1	Ophiocomina	<i>Ophiocomina nigra</i>
Pharidae	1	Ensis	<i>Ensis siliqua</i>
Arcidae	2	Arca	<i>Arca noae</i>
		Barbatia	<i>Barbatia barbata</i>
Glycymerididae	1	Glycymeris	<i>Glycymeris glycymeris</i>

Annexes

Cardiidae	3	Acanthocardia	<i>Acanthocardia tuberculata</i>
		Cardium	<i>Cerastoderma edule</i>
		Cerastoderma	<i>Cerastoderma glaucum</i>
Donacidae	1	Donax	<i>Donax trunculus</i>
Semelidae	2	Abra	<i>Abra alba</i>
		Scrobicularia	<i>Scrobicularia plana</i>
Tellinidae	4	Atlantella	<i>Moerella pulchella</i>
		Bosemprella	<i>Bosemprella incarnata</i>
		Peronaea	<i>Peronaea planata</i>
		Tellina	<i>Fabulina fabula</i>
Lucinidae	1	Lucinella	<i>Lucinella divaricata</i>
Modiolidae	1	Modiolus	<i>Modiolus barbatus</i>
Mytilidae	3	Lithophaga	<i>Lithophaga lithophaga</i>
		Mytilaster	<i>Mytilaster minimus</i>
		Mytilus	<i>Mytilus galloprovincialis</i>
Nuculidae	1	Nucula	<i>Nucula nucleus</i>
Gryphaeidae	1	Neopycnodonte	<i>Neopycnodonte cochlear</i>
Ostreidae	1	Ostrea	<i>Ostrea edulis</i>
Pinnidae	2	Pinna	<i>Pinna nobilis</i>
		Pinna	<i>Pinna rudis</i>
Pteriidae	1	Pteria	<i>Pteria hirundo</i>
Anomiidae	1	Anomia	<i>Anomia ephippium</i>
Pectinidae	2	Mimachlamys	<i>Mimachlamys varia</i>
		Pecten	<i>Pecten jacobaeus</i>
Spondylidae	1	Spondylus	<i>Spondylus gaederopus</i>
Mactridae	2	Mactra	<i>Mactra stultorum</i>
		Spisula	<i>Spisula subtruncata</i>
Veneridae	6	Callista	<i>Callista chione</i>
		Chamelea	<i>Chamelea gallina</i>
		Dosinia	<i>Dosinia exoleta</i>
		Tapes	<i>Ruditapes decussatus</i>
		Venerupis	<i>Polittapes aureus</i>
		Venus	<i>Venus verrucosa</i>
Loliginidae	1	Loligo	<i>Loligo vulgaris</i>
Eledonidae	1	Eledone	<i>Eledone moschata</i>
Octopodidae	1	Octopus	<i>Octopus vulgaris</i>
Sepiidae	1	Sepia	<i>Sepia officinalis</i>
Aplysiidae	4	Aplysia	<i>Aplysia depilans</i>
			<i>Aplysia fasciata</i>
			<i>Aplysia punctata</i>
		Stylocheilus	<i>Stylocheilus striatus</i>
Cerithiidae	1	Bittium	<i>Bittium reticulatum</i>
Cerithiidae	1	Cerithium	<i>Cerithium vulgatum</i>
Aglajidae	1	Navanax	<i>Navanax inermis</i>
Bullidae	1	Bulla	<i>Bulla striata</i>
Fissurellidae	1	Fissurella	<i>Fissurella nubecula</i>
Haliotidae	1	Haliotis	<i>Haliotis tuberculata</i>
Cassidae	1	Semicassis	<i>Semicassis undulata</i>
Charoniidae	1	Charonia	<i>Charonia lampas</i>
Cymatiidae	1	Cymatium	<i>Monoplex parthenopeus</i>
Cypraeidae	1	Erosaria	<i>Naria spurca</i>
Cypraeidae	1	Luria	<i>Luria lurida</i>
Littorinidae	1	Echinolittorina	<i>Echinolittorina punctata</i>
Rissoidae	1	Rissoa	<i>Rissoa membranacea</i>
Tonnidae	1	Tonna	<i>Tonna galea</i>
Triviidae	1	Trivia	<i>Trivia monacha</i>
Vermetidae	3	Dendropoma	<i>Dendropoma lebeche</i>
		Thylacodes	<i>Thylacodes arenarius</i>
Columbellidae	1	Columbella	<i>Columbella rustica</i>
Conidae	1	Conus	<i>Conus ventricosus</i>
Muricidae	3	Bolinus	<i>Bolinus brandaris</i>
		Hexaplex	<i>Hexaplex trunculus</i>
		Stramonita	<i>Stramonita haemastoma</i>

Annexes

Nassariidae	1	Nassarius	<i>Tritia incrassata</i>
Aeolidiidae	2	Aeolidiella	<i>Aeolidiella alderi</i>
		Berghia	<i>Berghia coeruleascens</i>
Chromodorididae	2	Felimare	<i>Felimare picta</i>
		Glossodoris	<i>Glossodoris cincta</i>
Discodorididae	1	Diaulula	<i>Diaulula sandiegensis</i>
Dotidae	1	Doto	<i>Doto coronata</i>
Eubranchidae	1	Eubranchus	<i>Eubranchus tricolor</i>
Facelinidae	1	Caloria	<i>Caloria elegans</i>
Facelinidae	1	Facelina	<i>Facelina annulicornis</i>
Fionidae	1	Fiona	<i>Fiona pinnata</i>
Flabellinidae	1	Flabellina	<i>Flabellina affinis</i>
Janolidae	1	Janolus	<i>Antiopella cristata</i>
Myrrhinidae	2	Dondice	<i>Nemesignis banyulensis</i>
		Hermisenda	<i>Hermisenda crassicornis</i>
Onchidorididae	1	Acanthodoris	<i>Acanthodoris pilosa</i>
Polyceridae	1	Thecacera	<i>Thecacera pennigera</i>
Scyllaeidae	1	Scyllaea	<i>Scyllaea pelagica</i>
Tergipedidae	1	Tergipes	<i>Tergipes tergipes</i>
Tritoniidae	1	Tritonia	<i>Candiella odhneri</i>
Pleurobranchidae	1	Berthella	<i>Berthella ocellata</i>
Siphonariidae	1	Siphonaria	<i>Siphonaria pectinata</i>
Phasianellidae	1	Tricolia	<i>Tricolia pullus</i>
Trochidae	6	Gibbula	<i>Gibbula</i>
			<i>Steromphala umbilicalis</i>
			<i>Steromphala varia</i>
		Phorcus	<i>Phorcus articulatus</i>
			<i>Phorcus turbinatus</i>
Steromphala	<i>Steromphala cineraria</i>		
Turbinidae	1	Bolma	<i>Bolma rugosa</i>
Patellidae	5	Patella	<i>Cymbula</i>
			<i>Cymbula safiana</i>
			<i>Patella caerulea</i>
			<i>Nacella delesserti</i>
			<i>Patella rustica</i>
<i>Patella ulyssiponensis</i>			
Plakobranchidae	2	Elysia	<i>Elysia timida</i>
		Thuridilla	<i>Thuridilla hopei</i>
Chitonidae	1	Chiton	<i>Chiton magnificus</i>
Tonicellidae	1	Lepidochitona	<i>Lepidochitona caprearum</i>
Clathrinidae	2	Clathrina	<i>Clathrina clathrus</i>
			<i>Clathrina coriacea</i>
Axinellidae	1	Axinella	<i>Axinella damicornis</i>
Raspailiidae	1	Raspaciona	<i>Raspaciona aculeata</i>
Chondrosiidae	1	Chondrosia	<i>Chondrosia reniformis</i>
Clionidae	1	Cliona	<i>Cliona celata</i>
Spirastrellidae	1	Spirastrella	<i>Spirastrella cunctatrix</i>
Dysideidae	2	Dysidea	<i>Dysidea avara</i>
		Pleraplysilla	<i>Pleraplysilla spinifera</i>
Irciniidae	1	Ircinia	<i>Ircinia variabilis</i>
Spongiidae	1	Spongia	<i>Spongia (Spongia) officinalis</i>
Chalinidae	1	Polysiphonia	<i>Haliclona (Haliclona)</i>
Petrosiidae	1	Petrosia	<i>Petrosia (Petrosia) ficiformis</i>
Crambeidae	1	Crambe	<i>Crambe crambe</i>
			<i>Phorbas fictitius</i>
Hymedesmiidae	2	Phorbas	<i>Phorbas tenacior</i>
Suberitidae	1	Terpios	<i>Terpios fugax</i>
Tethyidae	1	Tethya	<i>Tethya aurantium</i>
Ianthellidae	1	Hexadella	<i>Hexadella racovitzai</i>
Oscarellidae	1	Oscarella	<i>Oscarella lobularis</i>
Rivulariaceae	1	Rivularia	<i>Rivularia atra</i>
Arthrocladiaceae	1	Arthrocladia	<i>Arthrocladia villosa</i>
Dictyotaceae	9	Dictyota	<i>Dictyota dichotoma</i>
			<i>Dictyota dichotoma var. intricata</i>
			<i>Dictyota fasciola</i>

Annexes

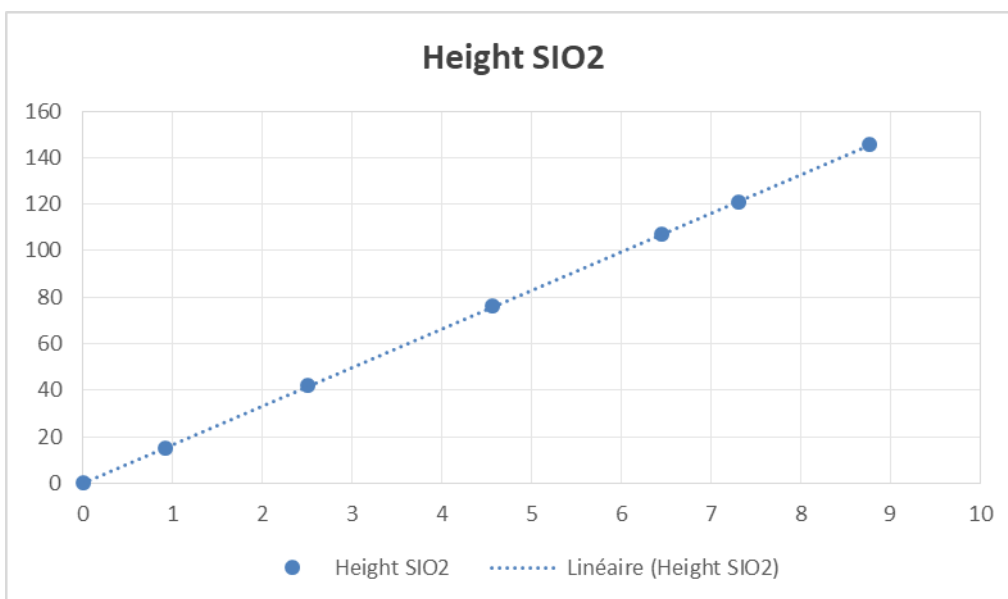
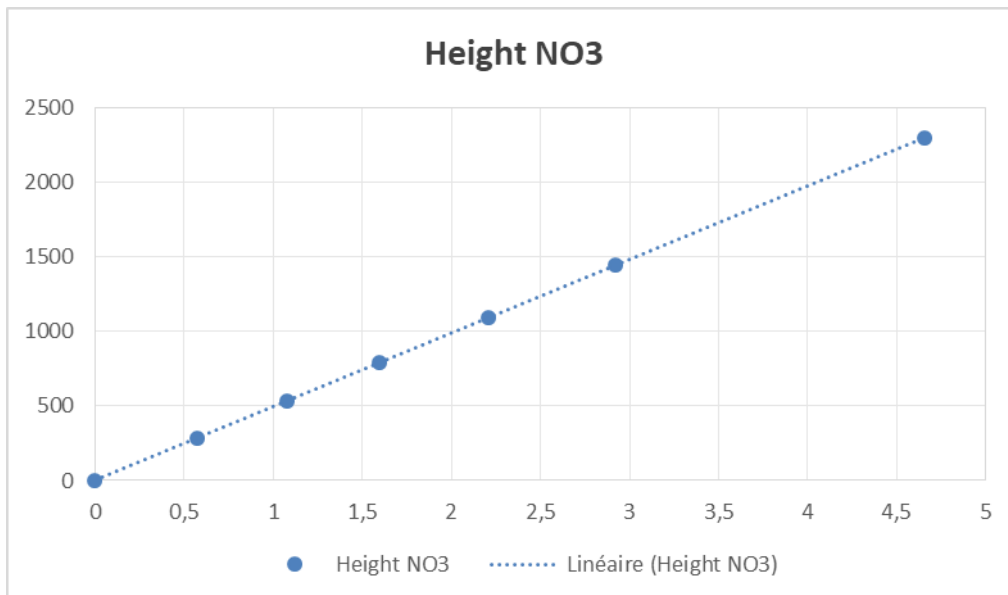
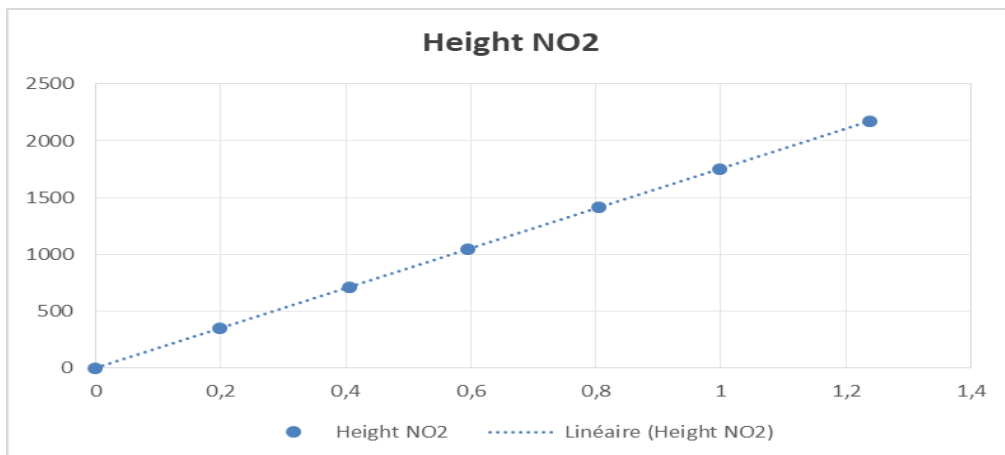
			<i>Dictyota implexa</i>
			<i>Dictyota mediterranea</i>
			<i>Dictyota spiralis</i>
		Padina	<i>Padina pavonica</i>
		Spatoglossum	<i>Spatoglossum solieri</i>
		Taonia	<i>Taonia atomaria</i>
Ectocarpaceae	1	Ectocarpus	<i>Ectocarpus siliculosus</i>
Scytosiphonaceae	2	Colpomenia	<i>Colpomenia sinuosa</i>
		Hydroclathrus	<i>Hydroclathrus clathratus</i>
Fucaceae	1	Fucus	<i>Fucus spiralis</i>
Sargassaceae	7	Cystoseira	<i>Ericaria amentacea</i>
			<i>Cystoseira compressa</i>
			<i>Cystoseira foeniculacea</i>
			<i>Gongolaria montagnei</i>
			<i>Ericaria zosteroides</i>
		Sargassum	<i>Sargassum muticum</i>
			<i>Sargassum trichocarpum</i>
Hapalospongiaceae	1	Hapalospongidion	<i>Hapalospongidion macrocarpum</i>
Ralfsiaceae	1	Ralfsia	<i>Pseudoralfsia verrucosa</i>
Cladostephaceae	1	Cladostephus	<i>Cladostephus spongiosus</i>
Stypocaulaceae	2	Halopteris	<i>Halopteris filicina</i>
			<i>Halopteris scoparia</i>
Cutleriaceae	1	Cutleria	<i>Cutleria chilosa</i>
Phyllariaceae	1	Phyllariopsis	<i>Phyllariopsis brevipes</i>
Verrucariaceae	1	Verrucaria	<i>Verrucaria amphibia</i>
Bryopsidaceae	1	Bryopsis	<i>Bryopsis plumosa</i>
Caulerpaceae	1	Caulerpa	<i>Caulerpa prolifera</i>
Codiaceae	4	Codium	<i>Codium adhaerens</i>
			<i>Codium bursa</i>
			<i>Codium fragile</i>
			<i>Codium vermilara</i>
Halimedaceae	2	Flabellia	<i>Flabellia petiolata</i>
		Halimeda	<i>Halimeda tuna</i>
Halimedaceae	1	Pseudochlorodesmis	<i>Pseudochlorodesmis furcellata</i>
Anadyomenaceae	1	Anadyomene	<i>Anadyomene stellata</i>
Cladophoraceae	2	Cladophora	<i>Lychaete pellucida</i>
			<i>Cladophora vagabunda</i>
Valoniaceae	2	Valonia	<i>Valonia aegagropila</i>
			<i>Valonia utricularis</i>
Polyphysaceae	1	Acetabularia	<i>Acetabularia acetabulum</i>
Ulvaceae	6	Ulva	<i>Ulva intestinalis</i>
			<i>Ulva compressa</i>
			<i>Ulva lactuca</i>
			<i>Ulva linza</i>
			<i>Ulva rigida</i>
		Umbraulva	<i>Umbraulva dangeardii</i>
Bangiaceae	2	Bangia	<i>Bangia atropurpurea</i>
		Porphyra	<i>Porphyra leucosticta</i>
Bonnemaisoniaceae	2	Asparagopsis	<i>Asparagopsis armata</i>
			<i>Asparagopsis taxiformis</i>
Callithamniaceae	1	Spyridia	<i>Spyridia filamentosa</i>
Ceramiaceae	3	Ceramium	<i>Ceramium ciliatum</i>
			<i>Ceramium diaphanum</i>
			<i>Ceramium virgatum</i>
Delesseriaceae	1	Dasya	<i>Dasya corymbifera</i>
Rhodomelaceae	5	Chondria	<i>Chondria dasyphylla</i>
		Laurencia	<i>Laurencia obtusa</i>
		Palisada	<i>Osmundea pinnatifida</i>
		Polysiphonia	<i>Carradoriella elongata</i>
Corallinaceae	3	Ellisolandia	<i>Ellisolandia elongata</i>
		Jania	<i>Jania adhaerens</i>
Lithophyllaceae	4	Amphiroa	<i>Jania rubens</i>
			<i>Amphiroa rigida</i>

Annexes

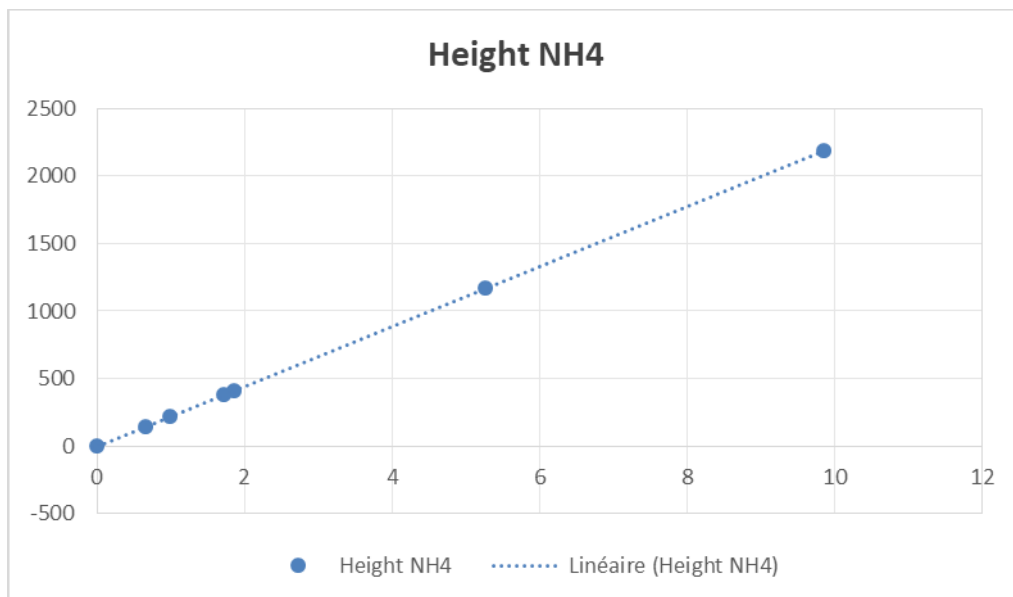
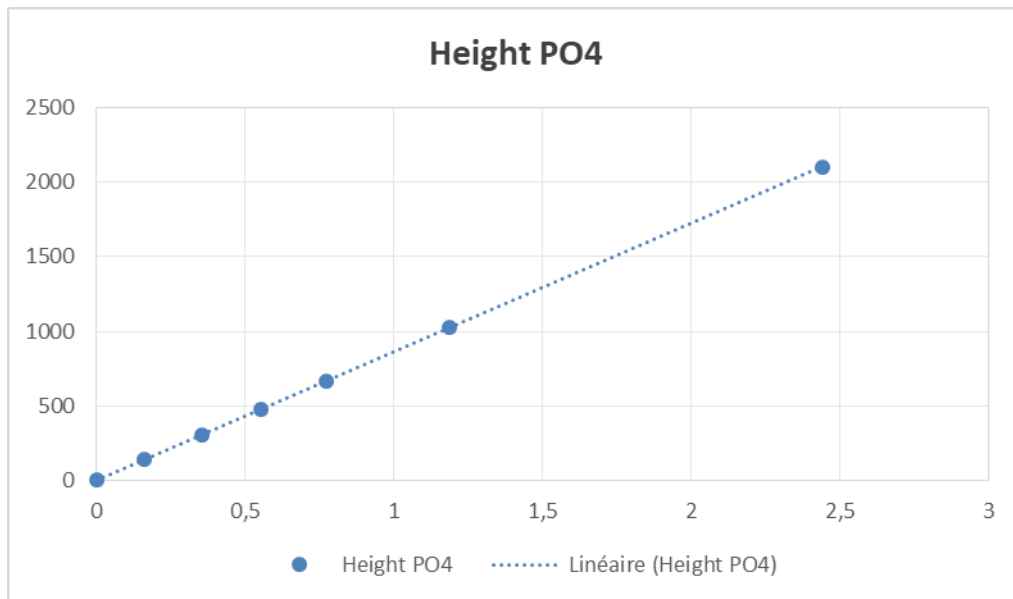
		Lithophyllum	<i>Lithophyllum byssoides</i>
			<i>Lithophyllum incrustans</i>
			<i>Lithophyllum papillosum</i>
Spongitiaceae	1	Neogoniolithon	<i>Neogoniolithon brassica-florida</i>
Gelidiaceae	2	Gelidium	<i>Gelidium crinale</i>
			<i>Gelidium pusillum</i>
Pterocladaceae	1	Pterocladia	<i>Pterocladia capillacea</i>
Cystocloniaceae	1	Hypnea	<i>Hypnea musciformis</i>
Gigartineae	1	Chondracanthus	<i>Chondracanthus acicularis</i>
Phylloporaceae	4	Gymnogongrus	<i>Gymnogongrus crenulatus</i>
		Schottera	<i>Schottera nicaeensis</i>
Rissoellaceae	1	Rissoella	<i>Rissoella verruculosa</i>
Sphaerococcaceae	1	Sphaerococcus	<i>Sphaerococcus coronopifolius</i>
Halymeniaceae	1	Halymenia	<i>Halymenia floresii</i>
Hapalidiaceae	1	Phymatolithon	<i>Phymatolithon lenormandii</i>
Mesophyllumaceae	1	Mesophyllum	<i>Mesophyllum lichenoides</i>
Hildenbrandiaceae	1	Hildenbrandia	<i>Hildenbrandia rubra</i>
Galaxauraceae	1	Tricleocarpa	<i>Tricleocarpa fragilis</i>
Nemaliaceae	1	Nemalion	<i>Nemalion elminthoides</i>
Peyssonneliaceae	2	Peyssonnelia	<i>Peyssonnelia rubra</i>
			<i>Peyssonnelia squamaria</i>
Faucheaceae	1	Gloiocladia	<i>Gloiocladia microspora</i>
			<i>Gloiocladia repens</i>
		Leptofauchea	<i>Leptofauchea coralligena</i>
Cymodoceaceae	1	Cymodocea	<i>Cymodocea nodosa</i>
Posidoniaceae	1	Posidonia	<i>Posidonia oceanica</i>
Zosteraceae	2	Zostera	<i>Zostera marina</i>
			<i>Zostera noltii</i>

Annexe 2

Courbes d'étalonnage des sels nutritifs



Annexes



BMC

Outil d'étude de la vulnérabilité côtière

Introduction

Les zones côtières du monde entier sont confrontées à une vulnérabilité croissante en raison des effets combinés du changement climatique, de l'urbanisation rapide et de la pression anthropique. Ces régions, souvent densément peuplées, subissent des risques accrus d'érosion, d'inondations, de tempêtes et de montée du niveau de la mer. Ces phénomènes mettent en péril non seulement les infrastructures, mais aussi les écosystèmes côtiers et les moyens de subsistance des communautés locales. Dans ce contexte critique, il devient indispensable de développer des outils innovants pour évaluer et gérer ces vulnérabilités de manière efficace et durable.

I. Présentation du projet

L'objectif principal est de créer un outil avancé d'étude de la vulnérabilité côtière, intégrant la modélisation numérique, l'analyse de données géospatiales et les SIG. Cet outil fournira une évaluation précise et dynamique des risques côtiers.

Valeur ajoutée :

1. **Précision et fiabilité** : Basé sur des données en temps réel et des modèles scientifiques validés, l'outil garantit une représentation réaliste des risques.
2. **Accessibilité** : Interface intuitive adaptée à divers profils utilisateurs (experts, décideurs, communautés locales).
3. **Outil de prévention et d'adaptation** : Scénarios prospectifs pour anticiper les effets du changement climatique.
4. **Sensibilisation et éducation** : Modules visuels et pédagogiques pour vulgariser les risques et les mesures de protection.
5. **Support à la prise de décision** : Aide à l'élaboration de politiques publiques, de plans d'urbanisme et de gestion de crise.

II. Objectifs du projet

- **Évaluation précise des risques côtiers** : Analyse quantitative de l'exposition aux aléas et de la vulnérabilité des infrastructures et populations.
- **Aide à la prise de décision** : Outils d'aide à la planification (cartes, tableaux de bord, alertes).
- **Prévention et adaptation** : Identification de zones prioritaires et recommandations d'aménagement ou de relocalisation.
- **Sensibilisation** : Supports interactifs pour renforcer la culture du risque.
- **Planification durable** : Intégration des risques dans les politiques territoriales à long terme.
- **Surveillance continue** : Actualisation automatique à partir de nouvelles données (climatiques, bathymétriques, etc.).

III. Activités clés

- **Collecte/intégration de données** : Agrégation de sources multiples (satellites, capteurs, relevés terrain).
- **Modélisation et analyse des risques** : Simulation d'événements extrêmes à l'aide de modèles prédictifs (inondation, submersion, recul du trait de côte).
- **Cartographie dynamique** : Systèmes de visualisation interactifs géolocalisés.
- **Scénarios d'impact** : Estimation des dégâts humains, environnementaux et économiques.
- **Stratégies d'adaptation** : Plans d'intervention multi-niveaux (ingénierie verte, infrastructures hybrides).
- **Suivi continu** : Alertes et mises à jour automatiques.
- **Formation** : Modules de capacités techniques pour utilisateurs finaux.
- **Support à la décision** : Rapports adaptés aux besoins des mairies, agences de l'eau, urbanistes.
- **Partage d'information** : Portail collaboratif pour les parties prenantes.

IV. Analyse stratégique du marché

- **Segments :**

- **Gouvernement** : Intégration de l'outil dans les plans nationaux de gestion du littoral.
- **Collectivités locales** : Décision pour la réduction des risques en zones urbanisées.
- **Universités et centres de recherche** : Recherche appliquée et publication.
- **Secteur privé** : Études d'impact pour projets d'infrastructure.
- **ONG et associations** : Sensibilisation et plaidoyer communautaire.
- **Institutions financières** : Appui à la planification d'investissements résilients.

- **Canaux de communication :**

- **Démonstrations pratiques** : Organisation de présentations sur site ou en ligne pour montrer l'utilisation de l'outil en conditions réelles.
- **Partenariats académiques** : Collaboration avec des chercheurs pour tests, validation des modèles et publication d'études.
- **Plateforme web** : Mise à disposition d'un espace utilisateur en ligne avec accès sécurisé, tableau de bord et outils de visualisation.
- **Articles scientifiques** : Publication dans des revues spécialisées pour asseoir la crédibilité technique de l'outil.
- **Conférences et foires** : Présence dans des événements nationaux/internationaux pour élargir le réseau professionnel.
- **Formation certifiée** : Programme de formation continue avec certification à la clé pour les utilisateurs professionnels.
- **Hotline et FAQ** : Support technique disponible pour l'accompagnement post-vente et centre d'aide interactif.

- **Relations clients :**

- **Suivi personnalisé** : Conseillers attitrés pour les partenaires majeurs, disponibilité d'un helpdesk dédié.
- **Communauté d'utilisateurs** : Forum ou espace collaboratif favorisant l'échange d'expériences et de bonnes pratiques.
- **Mises à jour adaptatives** : Évolution des fonctionnalités selon les besoins exprimés.
- **Offres modulables** : Formules adaptées selon le type d'utilisateur (collectivité, entreprise, ONG...).

- **Transparence** : Accès aux données sources, à la méthodologie, et rapports de performance réguliers.

V. Plan de production et organisation

- **Production** : L'outil sera développé selon une méthode agile en sprints successifs. Chaque itération comprendra des phases de tests utilisateurs, de correction, puis de validation. Le versionnement permettra de suivre les évolutions du produit et d'assurer une maintenance régulière.
- **Approvisionnement** : Les données nécessaires proviendront de sources ouvertes ou sous licence : satellites Copernicus, données topographiques IGN, relevés marégraphiques, bases socio-économiques nationales (ONS) et internationales (ONU, FAO).
- **Besoins humains** :
 - Développeurs full-stack spécialisés en traitement spatial et webmapping.
 - Experts SIG (géomaticiens, analystes géospatiaux).
 - Océanographes et climatologues pour les modules de simulation.
 - Urbanistes et spécialistes de la gestion des risques.
 - Formateurs et ingénieurs pédagogiques pour la partie formation.
- **Technologies** :
 - Infrastructure cloud sécurisée (AWS, Azure, ou équivalent local).
 - Outils open-source et standards interopérables : QGIS, R, Python, PostgreSQL/PostGIS.
 - Plateformes d'intégration continue (CI/CD) pour automatiser les tests et déploiements.
- **Partenariats** : Signature de conventions de collaboration avec les universités locales (sciences de la mer, géographie), agences environnementales, et associations de la société civile.
- **Financement** : Recherche de subventions (fonds climatiques, programmes Horizon Europe, GEF), partenariat public-privé, incubation via des programmes d'innovation (ex : Startups pour le climat).
- **Marketing** : Production de brochures, capsules vidéos explicatives, démonstrations en ligne. Participation à des événements thématiques (climat, SIG, innovation durable).
- **Formation** : Élaboration d'un curriculum certifié conforme aux besoins des décideurs, techniciens territoriaux et enseignants.

- **Surveillance** : Intégration d'outils de monitoring en temps réel, avec analyse prédictive via des algorithmes d'IA. Système de feedback automatique pour capter l'évolution des besoins utilisateurs et ajuster les mises à jour.

VI. Plan Financier

Catégorie	Détail	Coût (DZD)
Dev. logiciel	4 dev. x 200k DZD/mois (12 mois)	9,600,000
Infra Tech	Serveurs, logiciels SIG, données télédétection	3,700,000
Collecte Données	Données climatiques et géo	2,000,000
Formation & Support	Formations + support	1,100,000
Marketing	Communication + événements	1,800,000
Partenariats	Coûts initiaux	1,000,000
Gestion	Salaires gestionnaires	3,600,000
Total Coûts		22,800,000
Revenus	Licences, consulting, PPP	30,000,000
Bénéfice Net		7,200,000

Conclusion

Ce projet d'outil d'évaluation de la vulnérabilité côtière se positionne comme une réponse novatrice aux enjeux climatiques en milieu littoral. Il favorise la résilience des écosystèmes et des populations par l'intégration technologique, l'analyse scientifique, et la planification durable.

Business Model Canvas

<p>Partenaires Clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fournisseurs de données : IGN, SHOM, Copernicus, bases ON • Données bathymétriques et climatiques • Universités et centres de recherche : laboratoires de sciences de la mer, équipes de climatologie • Agences gouvernementales : ministère de l'Environnement, ministère des Ressources en Eau • ONG et associations : associations du littoral, collectivités locales • Incubateurs & financements : banques de développement, programmes d'innovation 	<p>Activités Clés</p> <ul style="list-style-type: none"> • Collecte et intégration de données : satellites, capteurs terrain, relevés hydrodynamiques, bases socio-économiques • Modélisation & analyse des risques : simulations inondation, submersion, érosion, évaluation exposition • Cartographie dynamique : WebGIS interactif, cartes géoréférencées, visualisation temps réel • Scénarios d'impact : estimations dégâts humains, économiques, environnementaux, recommandations • Suivi continu & alertes : actualisation des modèles, notifications aux gestionnaires • Formation & sensibilisation : modules pédagogiques, ateliers terrain • Support à la décision : rapports personnalisés, tableaux de bord, portail collaboratif 	<p>Proposition de Valeur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Précision et fiabilité des données : modèles validés, données temps réel • Accessibilité & facilité d'utilisation : interface Web intuitive • Prévention & adaptation : scénarios prospectifs (élévation, submersion) • Sensibilisation & éducation : modules visuels, infographies pédagogiques • Support à la décision : recommandations d'aménagement, tableaux de bord personnalisés • Mise à jour automatique : actualisation continue des données et scénarios 	<p>Relation Client</p> <ul style="list-style-type: none"> • Support personnalisé : assistance technique dédiée, conseillers pour grands comptes • Formation & éducation : webinaires, tutoriels en ligne, documentation exhaustive • Communauté & collaboration : forums, groupes de bonnes pratiques, partenariats académiques • Feedback & amélioration : enquêtes de satisfaction, workshops participatifs • Abonnements & mises à jour : contrats annuels/plurianuels, accès fonctionnalités • Transparence & fiabilité : publication des performances, méthodologie <p>Canaux</p> <ul style="list-style-type: none"> • Démonstrations pratiques • Partenariats académiques • Plateforme Web dédiée • Publications et médias spécialisés • Conférences et foires • Programmes de formation et certification • Support technique (hotline, FAQ) 	<p>Segments Clients</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gouvernement & institutions publiques : ministère de l'Environnement, ministère des Ressources en Eau • Collectivités locales & régionales : wilayas, communes côtières, agences d'urbanisme • Universités & centres de recherche : laboratoires marins, équipes climatologie, facultés de géomatique • Secteur privé : entreprises d'ingénierie côtière, cabinets de conseil, compagnies d'assurances • ONG & associations : associations environnementales, communautés de pêcheurs • Institutions financières : banques de développement (AFD, BAD), agences internationales
<p>Structure de Coûts</p> <ul style="list-style-type: none"> • Développement logiciel : 9 600 000 DZD • Infrastructure technique : 3 700 000 DZD • Collecte et gestion des données : 2 000 000 DZD • Formation & support : 1 100 000 DZD • Marketing & communication : 1 800 000 DZD • Partenariats & collaborations : 1 000 000 DZD • Gestion (salaires) : 3 600 000 DZD • Total : 22 800 000 DZD 		<p>Flux de Revenus</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vente de licences : abonnements annuels/mensuels pour l'accès à l'outil • Services de consultation : analyses spécialisées, formation, support personnalisé • Partenariats public-privé : co-financement de projets spécifiques • Maintenance & mises à jour : contrats SLA avec mises à jour régulières 		



Vulnerability Assessment of the Rachgoun island

Authors : Meriem Mélissa AZZOUG, Abdelmoumen Moncef GHIAR, Samir GRIMES, Yakout Nawel MOUSSAOUI



• CVRM laboratory, National School of Marine Science and Coastal Planning
National School of Marine Sciences and Coastal Management (ENSSMAL)

ABSTRACT

The Rachgoun area, located on the western coast of Algeria in the wilaya of Ain Témouchent, is one of Algeria's marine ecosystems with high ecological potential and significant socio-economic interest. In this study, we present an assessment of the vulnerability of this site to anthropogenic pressures and the effects of climate change. A comparative analysis of this vulnerability is carried out using two approaches: a rapid, data-light method and a more detailed one that requires environmental and socio-economic data. In this regard, data collected from in situ surveys and analyses are used to perform the comparison, focusing mainly on seawater parameters (temperature, pH, salinity) and marine sediment. In parallel, an analysis of human activities was conducted to identify the main threats. The results will highlight the vulnerability of the ecosystems surrounding the insular environment of Rachgoun.

INTRODUCTION

The Rachgoun area, located on the west coast of Algeria in the wilaya of Ain Témouchent, constitutes a marine ecosystem of major ecological and socio-economic interest (Yahia Meddah et al., 2023). The region is ecologically sensitive due to the presence of endemic species and habitats such as *Posidonia oceanica* meadows (Benallal et al., 2024). This study aims to assess the ecological status and anthropogenic pressures affecting this area, particularly around the island of Rachgoun (Chahrouh et al., 2019). Sampling campaigns were conducted across multiple points to collect data on key seawater parameters including temperature, pH, and salinity, as well as sediment characteristics (Kies, 2018). In parallel, an analysis of surrounding human activities such as fishing, coastal construction, and maritime traffic was carried out to identify dominant sources of ecological stress (Hussein & Talet, 2019). These anthropogenic pressures are known to be intensifying in Algerian coastal waters, particularly around insular ecosystems like Rachgoun (RAC/SPA, 2009). The results reveal an alarming increase in cumulative pressure on the local ecosystem, manifested through habitat degradation and reduced water quality (Bentaallah et al., 2023). These findings support the urgent need for regular environmental monitoring and integrated coastal zone management measures (Boubekri & Djebar, 2016). Such management strategies are essential to ensure both biodiversity conservation and the long-term sustainability of ecosystem services in the Rachgoun area (Samraoui & Samraoui, 2013).

GEOGRAPHICAL LOCATION

Beni Saf Bay is 13 km long and stretches between Cape Acra to the west and Cape Oulhaça to the east (Yahia Meddah et al., 2023). It is characterized by one of the widest continental shelves along the Algerian coastline, offering diverse marine habitats and supporting local fisheries (Chahrouh et al., 2019). Rachgoun Island is located approximately 8 km northeast of Beni Saf Bay and is considered a strategic ecological zone within the western Mediterranean basin (Benallal et al., 2024). Its precise geographical coordinates are 35°17'57.28" N and 1°28'10.30" W, marking it as a well-studied site for environmental monitoring (Bentaallah et al., 2023). The island spans an area of approximately 28.5 hectares, hosting habitats such as *Posidonia oceanica* beds and nesting areas for marine bird species (Samraoui & Samraoui, 2013). Due to its ecological richness and spatial isolation, Rachgoun is frequently cited in conservation strategies and marine biodiversity assessments (RAC/SPA, 2009).

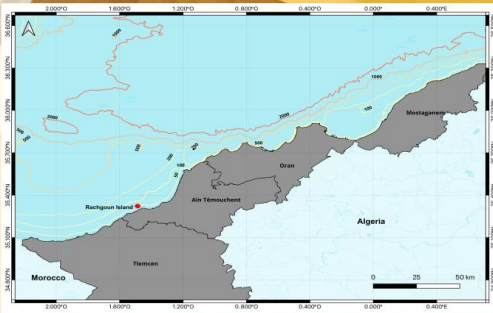


Fig 1. Map representing the studied areas

Methodology

We conducted both a bibliographic data collection and a field data collection for Rachgoun Island. The bibliographic research allowed us to gather existing information on the ecological and environmental context of the island. In parallel, fieldwork was carried out, during which we collected samples to analyze the following physicochemical parameters: Temperature, pH, Salinity, Nutrient Salts and Suspended Matter. The methodology adopted was based on the approach developed by Moussaoui (2025), which integrates both environmental monitoring and the analysis of human-induced pressures to assess insular vulnerability.

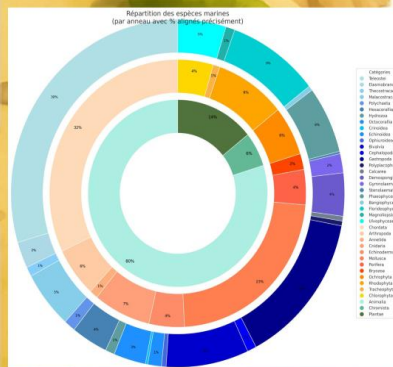


Fig 2. Diagramm representing the biodiversity

Results and discussion

The results indicate significant pollution at sites 1, 2, 3, 4, 6, and 7, revealing increased vulnerability in these areas. The measured parameters (temperature, pH, salinity, nutrients, suspended solids) show significant disturbances.

These alterations reflect increasing pressure on the marine ecosystems around Rachgoun Island. The affected sites show high levels of suspended solids and chemical imbalances. Abnormal variations in temperature and salinity are also observed. These imbalances reflect an advanced state of ecological stress.

The main sources of pollution identified are: line fishing, artisanal fishing, trawlers, sardine boats, the port, and tourism. These activities are all concentrated near sensitive areas. They contribute to a progressive degradation of water and sediment quality. Local biodiversity is thus threatened, particularly in benthic habitats.

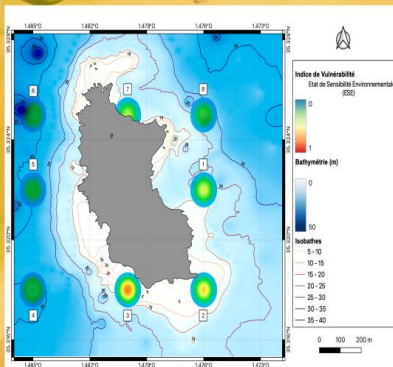


Fig 3. Map representig the insular vulnerability

CONCLUSION

Rachgoun Island is a valuable ecological reservoir, at the crossroads of local and Mediterranean environmental issues. Despite its remarkable biodiversity and good overall ecological status, it remains vulnerable to human pressures and environmental changes. The implementation of appropriate management tools, such as the creation of a SPAMI, combined with regular ecological monitoring and user awareness, appears essential to ensure the sustainable preservation of this unique site. Preserving Rachgoun means acting for the Mediterranean of tomorrow.

REFERENCES

Yahia Meddah, R., Chohani, T., Senouci, R., & Rabehi, W. (2023). Estimation of the coastal vulnerability index using multi criteria decision making: the coastal social-ecological system of Rachgoun, Western Algeria. Sustainability, 15(17), 12838. Link

Benallal, A.M., Kerfief, A., & Boucher, A. (2024). An ecological study on *Posidonia oceanica* (L.) Delle Islette meadows in Rachgoun Island. Link

Chahrouh, F., Dermeche, S., & Fatah, H. (2019). Evaluation of the health status of the *Posidonia oceanica* herbaceous in Rachgoun Island. Link

Kies, F. (2018). Ecological status of the West Algerian coastal waters within the Water Framework Directive. Link

Hussein, K.B., & Talet, L.B. (2019). Inventory of biodiversity and benthic habitats in Oran Bay. Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment. Link

RAC/SPA (2009). Impacts of climate change on marine biodiversity in the Mediterranean. Link

Bentaallah, M.E.A., Boughdid, D., & Carausan, N. (2023). Distribution and status of *Posidonia oceanica* meadows on the North-Western coast of Algeria. Link

Boubekri, L., & Djebar, A.B. (2016). Marine protected areas in Algeria: Challenges and opportunities. Ocean & Coastal Management, 133, 34-42. Link

Samraoui, B., & Samraoui, F. (2013). Survey of Algerian certain and threatened species. Wildlief, 01, 44-65. Link

Yahia Meddah, R., Chohani, T., Senouci, R., & Rabehi, W. (2023). Estimation of the coastal vulnerability index using multi criteria decision making: the coastal social-ecological system of Rachgoun, Western Algeria. Sustainability, 15(17), 12838. Link

Chahrouh, F., Dermeche, S., & Fatah, H. (2019). Evaluation of the health status of the *Posidonia oceanica* herbaceous in Rachgoun Island. Link

Benallal, A.M., Kerfief, A., & Boucher, A. (2024). An ecological study on *Posidonia oceanica* (L.) Delle Islette meadows in Rachgoun Island. Link

Bentaallah, M.E.A., Boughdid, D., & Carausan, N. (2023). Distribution and status of *Posidonia oceanica* meadows on the North-Western coast of Algeria. Link

Samraoui, B., & Samraoui, F. (2013). Survey of Algerian certain and threatened species. Wildlief, 01, 44-65. Link

RAC/SPA (2009). Impacts of climate change on marine biodiversity in the Mediterranean. Link

Boubekri, L., & Djebar, A.B. (2016). Marine protected areas in Algeria: Challenges and opportunities. Ocean & Coastal Management, 133, 34-42. Link

Espejo, A.A. et al. (2017). Ile de Rachgoun (Algérie) - Cartographie des habitats marins et de Méditerranée et initiation de réseaux de surveillance. Link

Samraoui, Y.N., Grimes, S., Kabil, N., & Boudjida, B. (2025). Assessment of insular vulnerability in southwestern Mediterranean countries: Case of îlot Fregé in Algeria. Geo Eco-Maria. Advance online publication.

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



Attestation de participation

Cette attestation est dévirée à

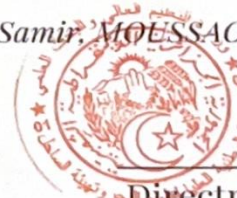
Mme AZZOUG Meriem Melissa

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 :

« Vulnerability Assessment of the Rachgoun Region »,

Co-auteurs: GHIAR Abdelmoumen Moncef, GRIMES Samir, MOUSSAOUI Yakout Nawel

Alger, le 28 mai 2025



الأستاذة: ليندة بن حجة
المديرة

Directrice de l'ENSSMAL

Résumé

Ce mémoire porte sur l'évaluation de la vulnérabilité écologique de l'île de Rachgoun, située au large des côtes algériennes, dans une perspective de gestion durable des milieux insulaires. À l'aide d'outils SIG, de bases de données écologiques et d'indicateurs environnementaux, l'étude dresse un diagnostic précis des pressions exercées sur les écosystèmes marins. L'analyse met en lumière la richesse écologique de l'île mais aussi sa forte sensibilité aux perturbations d'origine humaine (pollution, tourisme) et naturelle (érosion, élévation du niveau marin). L'approche méthodologique utilisée permet de spatialiser les risques et de proposer des mesures concrètes d'aménagement et de conservation. Ce travail contribue ainsi à la planification environnementale et peut être reproduit sur d'autres îles du bassin méditerranéen.

Mots clés

Vulnérabilité écologique, île de Rachgoun, systèmes d'information géographique (SIG), biodiversité marine, espèces patrimoniales, changements climatiques, pression anthropique, gestion durable, milieux insulaires, cartographie environnementale, adaptation côtière, indicateurs écologiques.

Abstract

This thesis focuses on assessing the ecological vulnerability of Rachgoun Island, located off the Algerian coast, within a sustainable management perspective for insular environments. Using GIS tools, ecological databases, and environmental indicators, the study provides a detailed diagnosis of the pressures affecting marine ecosystems. The analysis highlights both the island's ecological richness and its high sensitivity to human-induced (pollution, tourism) and natural (erosion, sea level rise) disturbances. The methodological approach used enables the spatialization of risks and the proposal of concrete conservation and planning measures. This work contributes to environmental planning and can be replicated on other Mediterranean islands.

Keywords

Ecological vulnerability, Rachgoun Island, Geographic Information Systems (GIS), marine biodiversity, heritage species, climate change, anthropogenic pressure, sustainable management, insular environments, environmental mapping, coastal adaptation, ecological indicators.

المخلص

يركز هذا البحث على تقييم الهشاشة البيئية لجزيرة راشقون الواقعة قبالة الساحل الجزائري، في إطار منظور الإدارة المستدامة للبيئات الجزرية. باستخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية، وقواعد البيانات البيئية، والمؤشرات البيئية، تقدم الدراسة تشخيصاً دقيقاً للضغوط التي تتعرض لها النظم البيئية البحرية. تسلط التحليلات الضوء على ثراء الجزيرة البيولوجي، وكذلك على حساسيتها العالية للاضطرابات الناتجة عن النشاط البشري (مثل التلوث والسياحة) والعوامل الطبيعية (مثل التعرية وارتفاع مستوى سطح البحر). تتيح المنهجية المتبعة تمثيل المخاطر مكانياً واقتراح تدابير عملية للتخطيط والحفاظ البيئي. يساهم هذا العمل في التخطيط البيئي ويمكن تعميمه على جزر أخرى في حوض البحر الأبيض المتوسط.

الكلمات المفتاحية

التنوع البيولوجي البحري، الأنواع ذات القيمة التراثية، الهشاشة البيئية، جزيرة راشقون، نظم المعلومات الجغرافية، المناخ، الضغط البشري، الإدارة المستدامة، البيئات الجزرية، الخرائط البيئية، التكيف الساحلي، المؤشرات البيئية، التنوع البيولوجي البحري، الأنواع ذات القيمة التراثية، التغيير المناخي، الضغط البشري، الإدارة المستدامة، البيئات الجزرية، الخرائط البيئية، التكيف (GIS) الساحلي، المؤشرات البيئية.