

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA**  
**RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Badji Mokhtar – Annaba  
Faculté des sciences  
Département des sciences de la mer



جامعة باجي مختار عنابة  
كلية العلوم  
قسم علوم البحار

## Thèse

Présentée pour l'obtention du diplôme de Doctorat

Spécialité: Sciences de la mer

Option: Gestion Intégrée des Zones Côtières

Par:

**LEBDJIRI Kaouthar**

Thème

---

## Aires Marines Protégées Méditerranéennes: impacts du réchauffement climatique sur la posidonie dans la future AMP Edough Annaba- Algérie

---

Devant le jury composé de:

| Nom et prénom           | Grade        | Etablissement                          | Qualité      |
|-------------------------|--------------|----------------------------------------|--------------|
| FRIHI Hocine            | Prof         | Université Badji Mokhtar, Annaba       | Président    |
| DJEBAR Abdallah Borhane | Prof Emérite | Université Badji Mokhtar, Annaba       | Directeur    |
| AMARA Rachid            | Prof         | Univ. du Littoral Côte d'Opale, France | Co-Directeur |
| MAMMERIA Aicha Beya     | Prof         | USTHB - Alger                          | Examinatrice |
| DERBAL Farid            | Prof         | Université Badji Mokhtar, Annaba       | Examineur    |

**Année Universitaire: 2024 – 2025**

## **Dédicaces**

*A mes parents, pour leur amour, leur soutien indéfectible et les valeurs qu'ils m'ont transmises.*

*A mon époux, pour sa patience, sa compréhension et sa présence à chaque étape.*

*A ma fille, née pendant cette thèse, qui a donné un nouveau sens à mon travail.*

*A ma famille et à tous ceux qui m'ont accompagnée de près ou de loin dans cette aventure.*

*LEBDJIRI Kaouther*

## **Remerciements**

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au **Professeur Émérite DJEBAR Abdallah Borhane**, responsable de la formation GIZC, pour son mentorat exceptionnel tout au long de ce parcours doctoral. Sa direction éclairée, ses conseils avisés et son soutien indéfectible ont été les piliers de ce travail. Sans sa rigueur scientifique, sa patience et son engagement, cette thèse n'aurait pu voir le jour. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance infinie.

Mes remerciements les plus sincères vont au **Professeur Émérite BENSOUILAH Mourad** et à l'ensemble de l'équipe du Laboratoire d'Écobiologie des Milieux Marins et Littoraux (EMMAL) pour m'avoir accueilli dans leur structure et offert un cadre de travail stimulant. Leurs échanges constructifs et leur expertise ont grandement nourri ma réflexion.

Je remercie chaleureusement tous les membres du jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail:

Au **Professeur FRIHI Hocine**, du Laboratoire des Bioressources Marines, pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury. Qu'il trouve ici l'expression de ma gratitude et de mon profond respect.

À la **Professeure MAMMERIA Aicha Beya**, de l'Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB) d'Alger, pour sa participation en tant qu'examinatrice. Je la remercie vivement pour l'intérêt qu'elle a porté à mes recherches.

Au **Professeur DERBAL Farid**, du Laboratoire des Bioressources Marines, pour son implication en tant qu'examineur. Son regard critique et ses remarques constructives ont été d'un grand apport pour l'enrichissement de ce travail.

Au **Professeur AMARA Rachid**, de l'Université du Littoral Côte d'Opale à Dunkerque, codirecteur de cette thèse, pour son accompagnement attentif, sa grande disponibilité et la richesse de ses conseils, qui ont largement contribué à la qualité de ce travail.

A Docteure **DAHEL Tania Amina** (Université d'El Tarf), dont les conseils éclairés, l'expérience multidisciplinaire et l'inspiration constante ont marqué cette aventure scientifique.

Une mention toute particulière au **Docteur Said Belbacha**, dont l'engagement sans faille sur le terrain, les compétences techniques et le soutien moral ont été déterminants dans la collecte des données. Son accompagnement humain et professionnel restera pour moi un modèle.

Je garde une reconnaissance émue envers mes collègues de spécialité **Amine Bey Djebbar** et **Rafik Kebbab** pour leur solidarité au quotidien, leurs discussions enrichissantes et leur amitié qui ont transformé ce défi en une expérience collective. Enfin, je n'oublie pas toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

## Liste des acronymes et des abréviations

|                  |                                                                      |
|------------------|----------------------------------------------------------------------|
| AMP              | Aire marine protégée                                                 |
| AMPmE            | Aire marine protégée des monts Edough                                |
| ASPIM            | Aires Spécialement Protégées d'Importance Méditerranéenne            |
| CDB              | Convention sur la Diversité Biologique                               |
| CUPA             | Centre Universitaire de Plongée d'Annaba                             |
| FAO              | Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. |
| GENBI            | le programme de Gouvernance Environnementale et Biodiversité         |
| GIZ              | Agence de coopération internationale allemande pour le développement |
| GPS              | Global positioning system                                            |
| MEDPAN           | Réseau des gestionnaires d'Aires Marines Protégées en Méditerranée   |
| OD               | Oxygène dissous                                                      |
| OMS              | Organisation mondiale de la santé                                    |
| ONG              | Organisation non gouvernementale                                     |
| pCO <sub>2</sub> | Pression partielle de dioxyde de carbone                             |
| PNUD             | Programme des Nations Unies pour le Développement                    |
| PSM              | planification spatiale marine                                        |
| S                | Secteur                                                              |
| SOS              | Safe operating space                                                 |
| St               | Station                                                              |
| T                | Température                                                          |
| UE               | Union européenne                                                     |
| UICN             | l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature             |
| UNEP             | The United Nations Environment Programme                             |
| Z                | Zone                                                                 |
| ZET              | Zones d'Extension Touristique                                        |

## Liste des figures

| N° | Titre                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Page |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1  | Configuration géographique et subdivision océanographique de la mer Méditerranée: une interface entre 3 continents et 2 sous-bassins distincts (Ramirez et <i>al.</i> , 2018) modifiée.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 1    |
| 2  | Congruence spatiale des pressions climatiques et anthropiques montrant l'état critique de la mer Méditerranée. Trois dimensions de l'espace opérationnel sûr (SOS) pour la mer Méditerranée sont représentées ici (A). Cette visualisation met en évidence: (B) l'intensité du réchauffement des eaux de surface induit par le changement climatique (température, pCO <sub>2</sub> et pH), (C) les altérations biochimiques associées à l'anthropisation des bassins versants (teneurs en nutriments, production primaire nette, O <sub>2</sub> dissous) et (D) les impacts cumulés des pressions halieutiques. L'ensemble de ces facteurs est intégré en (E), afin de fournir une cartographie de l'hétérogénéité spatiale des changements environnementaux récents, et de localiser les zones marines les plus vulnérables. (Ramirez et <i>al.</i> , 2018) modifiée. | 2    |
| 3  | Carte représentant les Aires Marines Protégées en Méditerranée (A), en Algérie (B) et dans l'Est Algérien (C) (MedPAN, 2022)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 5    |
| 4  | Photographie montrant la station de dessalement Koudiet Draouche dans la wilaya d'El Tarf proche de l'AMPmE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 7    |
| 5  | Photographie de prairies de <i>P. oceanica</i> formé par des clones sur 15 km (Arnaud-Haond et <i>al.</i> , (2012)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 8    |
| 6  | Distribution de <i>P. oceanica</i> dans les côtes méditerranéennes. Probabilité d'occurrence: de 0 absent à 1 présent (EMODnet, 2023, modifiée)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 9    |
| 7  | Rôle de l'herbier à <i>P. oceanica</i> dans le fonctionnement des systèmes littoraux en Méditerranée                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 10   |
| 8  | Sigle des Conventions de Ramsar (1971), Barcelone (1976), Berne (1979), la Conférence de Rio de Janeiro (1992), les Réseaux Natura 2000 et celui des gestionnaires d'Aires Marines Protégées en Méditerranée (MedPAN) (2008                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 12   |
| 9  | La <i>P. oceanica</i> , emblème du patrimoine marin algérien sur un timbre officiel: Emission N°: 12/2023, dessiné par Imene Belhadj Moustfa, taille: 26 x 36 mm (Algérie Poste, 2023).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 13   |
| 10 | Ouvrage, Les forêts marines de France et de Méditerranée (Blanfuné et <i>al.</i> , 2022)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 13   |
| 11 | Carte montrant les reliefs sous-marins et structures géologiques de l'Aire Marine Protégée des monts Edough (Est Algérien). 1: Plages sableuses; 2: Massifs de l'Edough; 3: Cotes rocheuses; 4: Reliefs sous marins; 5: l'AMP des monts Edough (EMODnet, 2025)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 14   |
| 12 | Carte montrant le découpage administratif de la wilaya d'Annaba et les limites de l'AMP des monts Edough. <b>Daira d'Annaba</b> : 1: Annaba, 8: Seraïdi. <b>Daira d'El Bouni</b> : 5: El Bouni. <b>Daira d'El Hadjar</b> : 3: El Hadjar; 11: Sidi Amar. <b>Daira de Chetaïbi</b> : 10: Chetaïbi. <b>Daira de Berrahel</b> : 2: Berrahal; 6: Oued el Aneb ; 12: Treat. <b>Daira de Ain Berda</b> : 4: El Eulma; 7: Cheurfa; 9: Ain Berda.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 15   |
| 13 | Carte montrant les délimitations terrestres de la zone d'étude de l'AMP de l'Edough. Le linéaire côtier (en bleu) indique les limites de l'AMP, située entre le Cap de Garde et Sidi Akkacha, bordé au nord par la mer Méditerranée et au sud par le massif de l'Edough (Décision n° 2261)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 17   |
| 14 | Photographie montrant le Cap de garde extrémité Est de l'AMP des monts Edough (Décision n° 2261)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 19   |
| 15 | Carte représentant la circulation des eaux de surface d'origine atlantique selon Millot et Taupier-Letage, (2005) modifiée.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 20   |
| 16 | Morphologie de <i>P. oceanica</i> .                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 22   |
| 17 | Carte montrant le zoning de l'AMP des monts Edough: en bleu la zone d'intérêt, en rouge la zone centrale, en orange la zone tampon et en blanc la zone de transition (Décision n° 2261)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 24   |
| 18 | Photographie montrant le multiparamètre étanche pour mesurer utilisé pour mesurer le pH, l'O <sub>2</sub> , la DO, la pression et la température dans l'eau (Hanna instruments - hi98196)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 25   |

|    |                                                                                                                                                                                                                                                              |    |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 19 | Photographies montrant les 3 types d'embarcations mobilisées pour l'échantillonnage en mer : (A) embarcation semi-rigide de type zodiaque, (B) bateau à moteur hors-bord, (C) kayak pneumatique.                                                             | 26 |
| 20 | Carte montrant la subdivision de la partie Est de l'AMP des monts Edough. Secteur 1: Z1, Z2, Z3, Z4; Secteur 2: Z5, Z6, Z7, Z8. (Z: Zone)                                                                                                                    | 27 |
| 21 | Équipements utilisés pour le relevé des points vérité: (A) GPS Garmin portable pour la géolocalisation, (B) lunettes de calfat pour l'observation des fonds, (C) papier calque pour le report cartographique initial.                                        | 28 |
| 22 | Photographie montrant le dispositif de mesure de la profondeur sur le terrain: profondimètre électronique et corde graduée équipée d'un plomb pour les relevés bathymétriques.                                                                               | 29 |
| 23 | Évolution mensuelle des températures des eaux superficielles (°C) en 2021 et 2022 dans AMPmE.                                                                                                                                                                | 30 |
| 24 | Evolution mensuelle de la salinité des eaux superficielles de l'AMPmE (2021-2022)                                                                                                                                                                            | 33 |
| 25 | Evolution mensuelle du pH à l'AMPmE en 2021-2022.                                                                                                                                                                                                            | 34 |
| 26 | Comparaison mensuelle de O <sub>2</sub> dissous dans l'AMPmE pour les années 2021 et 2022                                                                                                                                                                    | 36 |
| 27 | Évolution mensuelle des concentrations des MES dans les eaux superficielles de l'AMPmE en 2021 et 2022                                                                                                                                                       | 38 |
| 28 | Localisation et caractérisation des types de fonds marins de <i>P. oceanica</i> dans la zone Z1 du secteur 1 (Triangle vert : <i>P. oceanica</i> ; triangle rouge: substrat rocheux; triangle jaune substrat meuble, triangle blanc: aucune visibilité).     | 40 |
| 29 | Localisation et caractérisation des types de fonds marins de <i>P. oceanica</i> dans la zone Z2 du secteur 1. (Triangle vert : <i>P. oceanica</i> ; triangle rouge: substrat rocheux; triangle jaune: substrat meuble, triangle blanc : aucune visibilité).  | 42 |
| 30 | Localisation et caractérisation des types de fonds marins de <i>P. oceanica</i> dans la zone Z3 du secteur 1. (Triangle vert: <i>P. oceanica</i> ; triangle rouge: substrat rocheux; triangle jaune: substrat meuble, triangle blanc : aucune visibilité).   | 43 |
| 31 | Localisation et caractérisation des types de fonds marins de <i>P. oceanica</i> dans la zone Z4 du secteur 1. (Triangle vert: <i>P. oceanica</i> ; triangle rouge : substrat rocheux; triangle jaune: substrat meuble, triangle blanc : aucune visibilité).. | 46 |
| 32 | Localisation et caractérisation des types de fonds marins de <i>P. oceanica</i> dans la zone Z5 du secteur 2. (Triangle vert: <i>P. oceanica</i> ; triangle rouge: substrat rocheux; triangle jaune: substrat meuble, triangle blanc : aucune visibilité).   | 47 |
| 33 | Localisation et caractérisation des types de fonds marins de <i>P. oceanica</i> dans la zone Z6 du secteur 2. (Triangle vert: <i>P. oceanica</i> ; triangle rouge: substrat rocheux; triangle jaune: substrat meuble, triangle blanc : aucune visibilité).   | 49 |
| 34 | Localisation et caractérisation des types de fonds marins de <i>P. oceanica</i> dans la zone Z7 du secteur 8. (Triangle vert: <i>P. oceanica</i> ; triangle rouge: substrat rocheux; triangle jaune: substrat meuble, triangle blanc : aucune visibilité).   | 51 |
| 35 | Localisation et caractérisation des types de fonds marins de <i>P. oceanica</i> dans la zone Z8 du secteur 2. (Triangle vert: <i>P. oceanica</i> ; triangle rouge: substrat rocheux; triangle jaune: substrat meuble, triangle blanc: aucune visibilité).    | 52 |
| 36 | Cartographie des stations de <i>P. oceanica</i> avec leurs profondeurs dans l'AMP des monts Edough. (Triangle vert: <i>P. oceanica</i> )                                                                                                                     | 55 |
| 37 | Représentation de la répartition des profondeurs pour chaque type de fonds                                                                                                                                                                                   | 56 |
| 38 | Cartographie des stations de <i>P. oceanica</i> avec leurs distances de la cote dans l'AMP de l'Edough. (Triangle vert: <i>P. oceanica</i> )                                                                                                                 | 59 |
| 39 | Répartition des différentes stations de <i>P. oceanica</i> en fonction de leurs distances de côte                                                                                                                                                            | 60 |

## Liste des tableaux

| N° | Titre                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Page |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1  | Aire marines et autres zones assimilées effectivement protégées ou en cours de le devenir (d'ouest en est, d'après MEER-PNUD, (2019) et MEER SPA/RAC-ONU (2018). (1): ASPIM, (2): site Ramsar, (3) : réserve de la biosphère, (4): Aire potentiellement éligible à une AMP transfrontière. | 6    |
| 2  | Représentation des populations et des superficies des daïras et des communes de la wilaya d'Annaba (DB-City, 2025)                                                                                                                                                                         | 16   |
| 3  | Représentation des zones d'expansion touristique (ZET) de la wilaya d'Annaba (Direction du Tourisme et de l'Artisanat d'Annaba, 2024)                                                                                                                                                      | 16   |
| 4  | Dynamique thermique (T °C) des eaux de surface en 2021 et 2022                                                                                                                                                                                                                             | 30   |
| 5  | Limites des températures (°C) des eaux superficielles enregistrées en 2021 et 2022                                                                                                                                                                                                         | 31   |
| 6  | Evolution mensuelle de la salinité des eaux superficielles en 2021 et 2022                                                                                                                                                                                                                 | 32   |
| 7  | Variations mensuelles des pH des eaux superficielles en 2021 et 2022                                                                                                                                                                                                                       | 34   |
| 8  | Variations mensuelles de la concentration en O <sub>2</sub> dissous en mg/l dans les eaux superficielles en 2021 et 2022                                                                                                                                                                   | 35   |
| 9  | Variations mensuelles des concentrations des MES en 2021 et 2022                                                                                                                                                                                                                           | 37   |
| 10 | Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z1 du secteur 1 de l'AMPmE                                                                                                                                                                                                                  | 40   |
| 11 | Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z2du secteur 1 de l'AMPmE                                                                                                                                                                                                                   | 41   |
| 12 | Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z3du secteur 1 de l'AMPmE                                                                                                                                                                                                                   | 43   |
| 13 | Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z4 du secteur 1 de l'AMPmE                                                                                                                                                                                                                  | 45   |
| 14 | Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z5 du secteur 2 de l'AMPmE                                                                                                                                                                                                                  | 47   |
| 15 | Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z6 du secteur 2 de l'AMPmE                                                                                                                                                                                                                  | 48   |
| 16 | Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z7 du secteur 2 de l'AMPmE                                                                                                                                                                                                                  | 50   |
| 17 | Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z8 du secteur 2 de l'AMPmE                                                                                                                                                                                                                  | 52   |
| 18 | Données bathymétriques et caractéristiques <i>P. oceanica</i> dans l'AMP des monts Edough. (* : filet de pêche)                                                                                                                                                                            | 54   |
| 19 | Répartition spatiale de <i>P. oceanica</i> dans l'AMP des monts Edough en fonction de la distance a la cote                                                                                                                                                                                | 57   |
| 20 | Représentations des variations des températures des eaux en méditerranée en 2022.                                                                                                                                                                                                          | 61   |
| 21 | Représentation des variations des salinités en Méditerranée                                                                                                                                                                                                                                | 63   |
| 22 | Représentation des variations des pH dans les eaux superficielles en Méditerranée                                                                                                                                                                                                          | 64   |
| 23 | Représentation des variations de l'oxygène dissous dans diverses zones méditerranéennes                                                                                                                                                                                                    | 65   |
| 24 | Représentation des variations des matières en suspension (MES) dans différentes zones marines                                                                                                                                                                                              | 66   |

## Sommaire

|          |                                                                                          |    |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|          | Liste des sigles et abréviations.....                                                    |    |
|          | Liste des figures.....                                                                   |    |
|          | Liste des tableaux.....                                                                  |    |
|          | Introduction.....                                                                        | 1  |
| 2.       | Matériel et méthodes.....                                                                | 15 |
| 2.1.     | La zone d'étude.....                                                                     | 15 |
| 2.1.1.   | Localisation administrative de la wilaya d'Annaba.....                                   | 15 |
| 2.2.     | Description de la zone d'étude.....                                                      | 17 |
| 2.3.     | Géomorphologie et hydrodynamisme.....                                                    | 17 |
| 2.3.1.   | Courants principaux influençant l'AMP des monts Edough.....                              | 20 |
| 2.4.     | Contexte biologique.....                                                                 | 21 |
| 2.5.     | Biologie et écologie de <i>P. oceanica</i> .....                                         | 21 |
| 2.6.     | Contexte juridique.....                                                                  | 23 |
| 2.7.     | Mesure des paramètres physicochimiques.....                                              | 25 |
| 2.8.     | Localisation des fonds marins.....                                                       | 26 |
| 2.9.     | Mesure des profondeurs.....                                                              | 28 |
| 2.10.    | Géo référencement des données.....                                                       | 29 |
| 3.       | Résultats.....                                                                           | 30 |
| 3.1.     | Physicochimie saisonnières des eaux superficielles de l'AMPmE.....                       | 30 |
| 3.1.1.   | Températures.....                                                                        | 30 |
| 3.1.2.   | Salinités.....                                                                           | 32 |
| 3.1.3.   | pH.....                                                                                  | 33 |
| 3.1.4.   | L'oxygène dissous.....                                                                   | 35 |
| 3.1.5.   | Les matières en suspension.....                                                          | 37 |
| 3.2.     | Géolocalisation et caractérisation des fonds marins.....                                 | 39 |
| 3.2.1.   | Localisation et caractérisation du type des fonds marin dans le secteur 1.....           | 39 |
| 3.2.1.1. | La zone 1.....                                                                           | 39 |
| 3.2.1.2. | La zone 2.....                                                                           | 40 |
| 3.2.1.3. | La zone 3.....                                                                           | 42 |
| 3.2.1.4. | La zone 4.....                                                                           | 44 |
| 3.2.2.   | Localisation et caractérisation du type des fonds marin dans le secteur 2.....           | 46 |
| 3.2.2.1. | La zone 5.....                                                                           | 46 |
| 3.2.2.2. | La zone 6.....                                                                           | 47 |
| 3.2.2.3. | La zone 7.....                                                                           | 49 |
| 3.2.2.4. | La zone 8.....                                                                           | 51 |
| 3.3.     | Répartition bathymétrique et distance à la côte des herbiers de <i>P. oceanica</i> ..... | 53 |
| 3.3.1.   | La répartition bathymétrique.....                                                        | 53 |
| 3.3.2.   | Répartition selon la distance de la côte.....                                            | 56 |
| 3.3.2.1. | Distance à la côte.....                                                                  | 58 |
| 4.       | Discussion.....                                                                          | 61 |
| 5.       | Conclusion.....                                                                          | 71 |
|          | Résumés                                                                                  |    |
|          | en français.....                                                                         | 75 |
|          | en anglais.....                                                                          | 76 |
|          | en arabe.....                                                                            | 77 |
|          | Références bibliographiques.....                                                         | 78 |

---

# ***Introduction***

---

## Introduction

La mer Méditerranée (Fig. 1), du latin *Mare mediterraneum* signifiant «mer au milieu des terres», constitue une entité géographique et écologique unique sur la planète. En tant que plus grande mer semi-fermée du monde, elle couvre environ  $2,97 \cdot 10^6 \text{ km}^2$  et atteint une profondeur maximale de 5 267 m. Cette configuration lui confère une dynamique océanographique particulière, qui la rend particulièrement sensible aux variations climatiques et anthropiques (Pisano et *al.*, 2020; Machu 2024; Benouahmane et El Alaoui 2024). Souvent qualifiée de «bassin modèle» pour l'étude des changements environnementaux à l'échelle mondiale, la Méditerranée se distingue par son isolement relatif, sa taille modeste, son taux élevé d'endémisme, et la diversité de ses habitats marins et côtiers. Elle constitue ainsi un véritable laboratoire naturel, idéal pour analyser les effets du changement global sur les écosystèmes marins (Templado, 2014).

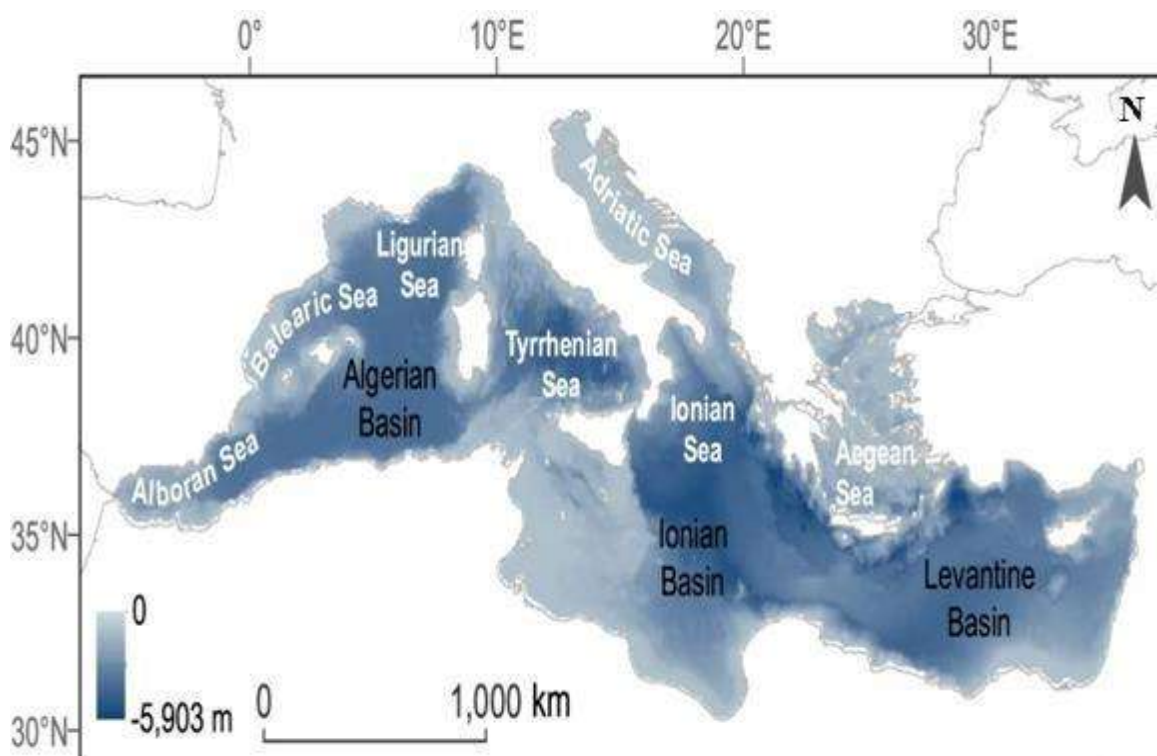


Figure 1: Configuration géographique et subdivision océanographique de la mer Méditerranée: une interface entre 3 continents et 2 sous-bassins distincts (Modifiée de Ramirez et *al.*, 2018)

A l'échelle régionale, la Méditerranée est également considérée comme une sentinelle du changement climatique, où les perturbations environnementales sont souvent plus rapides et intenses qu'ailleurs (Boero, 2015; Gravili, 2020) (Fig. 2). Son climat méditerranéen - hivers doux et humides, étés chauds et secs - n'existe que dans cinq régions du monde, renforçant encore l'intérêt scientifique pour cette zone.

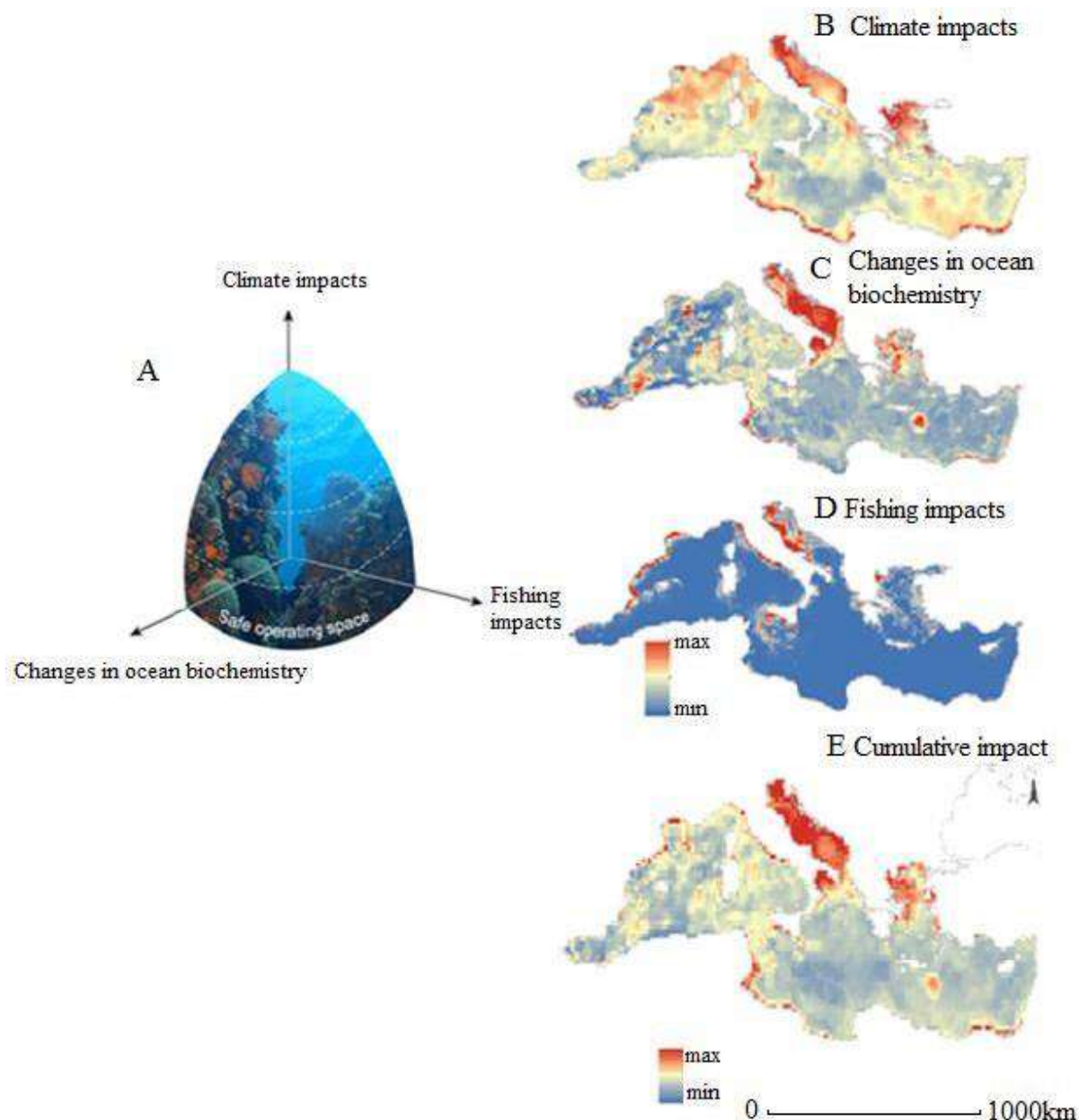


Figure 2: Congruence spatiale des pressions climatiques et anthropiques montrant l'état critique de la mer Méditerranée. Trois dimensions de l'espace opérationnel sûr (SOS) pour la mer Méditerranée sont représentées ici (A). Cette visualisation met en évidence: (B) l'intensité du réchauffement des eaux de surface induit par le changement climatique (température,  $pCO_2$  et pH), (C) les altérations biochimiques associées à l'anthropisation des bassins versants (teneurs en nutriments, production primaire nette,  $O_2$  dissous) et (D) les impacts cumulés des pressions halieutiques. L'ensemble de ces facteurs est intégré en (E), afin de fournir une cartographie de l'hétérogénéité spatiale des changements environnementaux récents, et de localiser les zones marines les plus vulnérables. (Ramirez *et al.*, 2018) modifiée.

Sur le plan socio-économique, la Méditerranée borde 21 états, accueille  $200.10^6$  touristes annuels et héberge près de  $460.10^6$  habitants, dont beaucoup vivent près du littoral. Cette forte pression démographique et l'artificialisation croissante des côtes accentuent la vulnérabilité des milieux naturels (PNUE/PAM, 2009; GREC-SUD, 2023). La région abrite

aussi l'un des plus vastes hotspots mondiaux de biodiversité terrestre et marine (2 085 292 km<sup>2</sup>), incluant forêts, garrigues, zones humides, deltas et récifs sous-marins. Bien que représentant seulement 0,82 % de la surface océanique mondiale, elle concentre entre 4 à 18 % des espèces marines connues, avec un fort taux d'endémisme, notamment chez les espèces benthiques, végétales et halieutiques (Cramer et *al.*, 2018). Cependant, cette biodiversité est aujourd'hui gravement menacée. Le bassin méditerranéen subit une forte pression anthropique: surexploitation des ressources halieutiques, pollution, destruction des habitats (dont les herbiers de *Posidonia oceanica*), arrivée d'espèces exotiques envahissantes (Boudouresque et *al.*, 2017). À cela s'ajoutent les effets du changement climatique : réchauffement, salinisation, acidification des eaux et montée du niveau de la mer (Kress et *al.*, 2014; Gattuso et *al.*, 2018). Ces impacts, souvent cumulatifs et synergiques, provoquent des modifications profondes dans la structure et la résilience des écosystèmes marins, avec déjà des épisodes documentés de mortalité massive d'invertébrés benthiques (Verdura et *al.*, 2019; Aurelle et *al.*, 2020).

Dans ce contexte, la Méditerranée devient un modèle d'étude privilégié pour comprendre les effets conjoints des pressions locales et globales sur les écosystèmes marins et anticiper leurs trajectoires écologiques futures (Ramírez et *al.*, 2018 ; Stock et *al.*, 2018).

Face aux pressions croissantes liées aux activités humaines et aux changements climatiques, la création d'Aires Marines Protégées (AMP) en Méditerranée (Fig. 3) est devenue une stratégie majeure pour conserver la biodiversité et renforcer la résilience écologique. Selon l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN), une AMP est une zone marine délimitée, reconnue et gérée durablement pour préserver la nature et ses services écosystémiques (Dudley, 2008). Les AMP sont aussi des instruments clés pour atteindre les objectifs fixés par la Convention sur la Diversité Biologique (CDB), notamment la protection de 30 % des océans d'ici 2030 selon le Cadre de Kunming-Montréal (CBD, 2022).

La gestion des AMP repose sur cinq principes fondamentaux:

- Principe de conservation écologique: L'objectif premier est de préserver la diversité biologique, les habitats essentiels et les processus écologiques naturels. Les AMP doivent viser le maintien ou la restauration de l'intégrité des écosystèmes marins (Roberts et *al.*, 2001).
- Principe de durabilité: Les ressources marines doivent être utilisées de manière à ne pas compromettre leur renouvellement à long terme. La durabilité intègre à la fois les dimensions écologiques, sociales et économiques (Halpern et *al.*, 2010).

- Principe de participation: La réussite d'une AMP repose souvent sur l'implication active des parties prenantes locales: pêcheurs, collectivités locales, ONG, scientifiques, etc. Ce principe s'inscrit dans une approche de gouvernance partagée (Govan et *al.*, 2009).
- Principe d'adaptabilité: Compte tenu de la dynamique des milieux marins et des pressions changeantes (climat, pollution, tourisme, etc.), les AMP doivent intégrer des mécanismes de suivi et d'évaluation pour adapter leurs mesures de gestion (Grorud-Colvert et *al.*, 2021).
- Principe de précaution: Face à l'incertitude scientifique, notamment dans des zones encore peu étudiées, des mesures conservatoires doivent être prises afin d'éviter toute dégradation irréversible (FAO, 1995).

Une AMP efficace vise à préserver les habitats essentiels, à assurer une exploitation durable des ressources marines, à intégrer activement les acteurs locaux dans sa gouvernance, à adapter ses mesures de gestion en fonction des évolutions observées et à prévenir toute dégradation irréversible des milieux. Les AMP jouent un rôle essentiel dans plusieurs domaines. Elles permettent la préservation de la biodiversité en protégeant les espèces marines menacées par la surpêche, la pollution et l'urbanisation côtière, notamment dans des habitats sensibles comme les herbiers de *P. oceanica* et les récifs coralliens (Edgar et *al.*, 2014). Elles assurent également la protection d'écosystèmes fragiles, indispensables pour la productivité marine, le stockage du carbone bleu et la limitation de l'érosion côtière (Duarte et *al.*, 2005). Par ailleurs, en réduisant les pressions humaines, elles favorisent la restauration écologique et la résilience climatique des écosystèmes, leur permettant de mieux faire face aux effets du réchauffement global (Bates et *al.*, 2019).

Sur le plan juridique, plusieurs conventions internationales encadrent la création et la gestion des AMP, notamment la Convention sur la diversité biologique (CDB, 1992), la Convention de Barcelone (1976) pour la Méditerranée et la Convention de Ramsar (1971) pour les zones humides. Chaque pays adapte ces cadres au niveau national : en Algérie, par exemple, la loi n° 02-02 sur la protection du littoral et la loi n° 11-02 sur les aires protégées servent de base légale à la mise en place des AMP (MATE, 2012).

Aujourd'hui, la Méditerranée compte 1 087 AMP reconnues, couvrant environ 8,33 % de sa surface totale (MEER, 2022). Cependant, la contribution de certains pays comme l'Algérie reste limitée: seules 225,76 km<sup>2</sup> de son territoire marin sont protégées, soit 0,17 % de sa zone maritime (Boubekri et *al.*, 2018, 2022, 2023). Cette situation souligne la nécessité d'intensifier les efforts pour atteindre les objectifs de conservation régionaux et globaux.

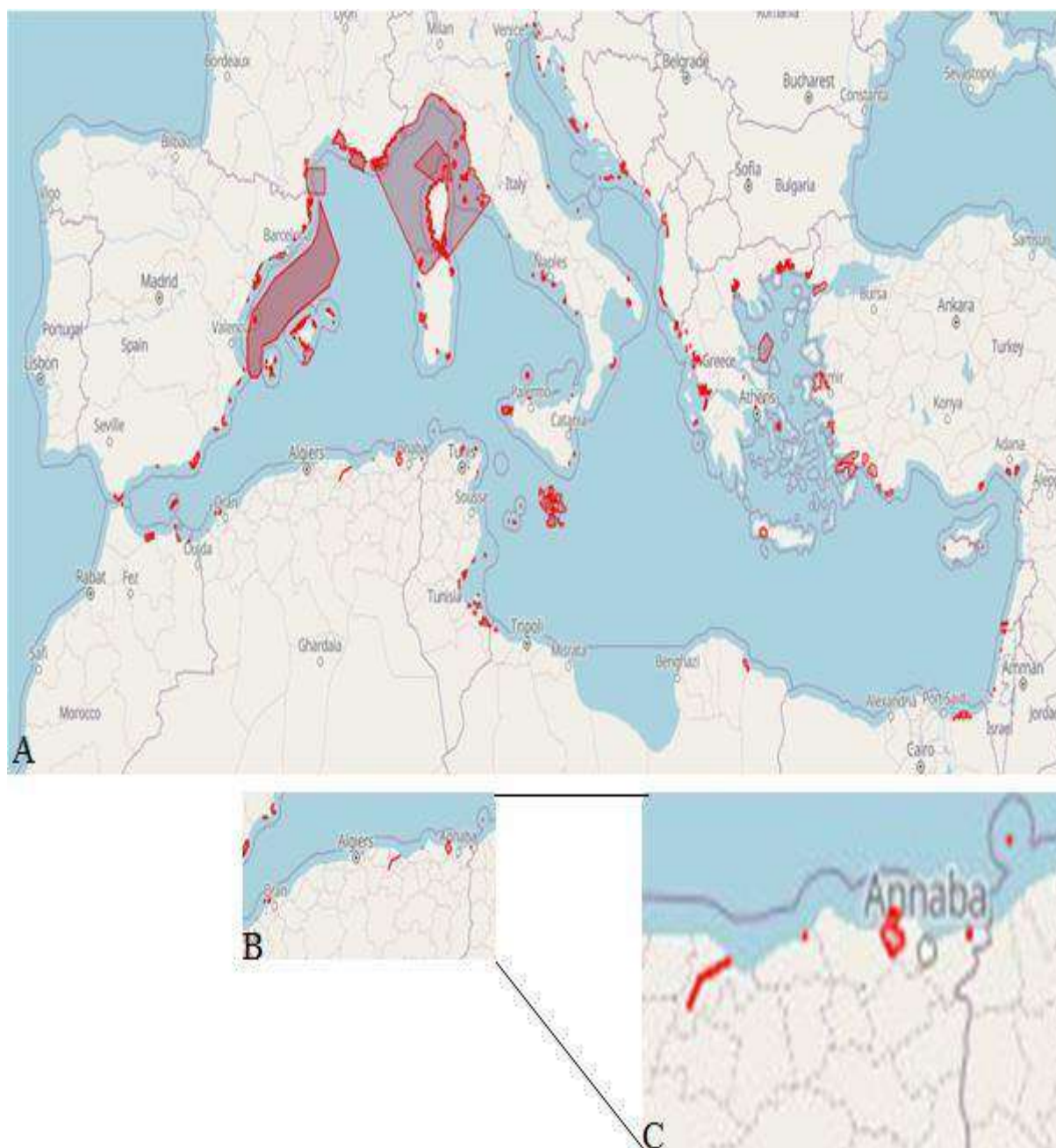


Figure 3: Carte représentant les Aires Marines Protégées en Méditerranée (A), en Algérie (B) et dans l'Est Algérien (C) (MedPAN, 2022)

A ce jour, l'Algérie compte deux Aires Spécialement Protégées d'Importance Méditerranéenne (ASPIM) (Tab. 1): le Banc des Kabyles et les Îles Habibas. A cela s'ajoutent deux réserves naturelles, situées au Cap Lindlès et aux Îles Planes, ainsi que 4 parcs nationaux côtiers: El Kala, Gouraya, Tazaet les Monts de l'Edough, ce dernier présentant un intérêt particulier dans le cadre de la présente étude (MEER, 2022; Boubekri et *al.*, 2018, 2022 et 2023).

Tableau 1: Aire marines et autres zones assimilées effectivement protégées ou en cours de le devenir (d'Ouest en Est, d'après MEER-PNUD, (2019) et MEER SPA/RAC-ONU (2018). (1): ASPIM, (2): site Ramsar, (3): réserve de la biosphère, (4): Aire potentiellement éligible à une AMP transfrontière.

| N° | Dénomination                           | Localisation         | Statut             | Tutelle                                                                                                                              |
|----|----------------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Ile de Rachgoun                        | Ouest - Béni-Saf     | En cours           | CNL                                                                                                                                  |
| 2  | Iles Habibas(1)                        | Ouest - Oran         | Classée            | CNL, 40 ha, décret n°03-147 du 29/03/2003                                                                                            |
| 3  | Cap-Lindlès, île Plane (1)             | Ouest - Oran         | Classé             | Diverses autorités dont le Ministère chargé des forêts pour la réglementation de la chasse sur la partie terrestre (1632 sur 5915 ha |
| 4  | Mont Chenoua - Anses de Kouali         | Centre - Tipaza      | Classés            | Wilaya-CNL, arrêté n° 1023 du 20/07/2016                                                                                             |
| 5  | Réserve naturelle de l'Oued Mazafran   | Centre - Tipaza      | Classée            | Wilaya, 2613,74 ha - arrêté n° 1416 du 26/09/2016)                                                                                   |
| 6  | Ile Agueli                             | Centre – Alger Est   | En cours           | CNL                                                                                                                                  |
| 7  | Marais de Réghaïa (2)                  | Centre - Alger Est   | Classés            | Wilaya, 2484 ha (722 terrestres, et 1712 marins) - arrêté n° 4959 du 15/08/2016                                                      |
| 8  | Cordon dunaire de la forêt de Zemmouri | Centre - Alger Est   | Classé             | Wilaya, 1600 ha - arrêté n° 2125 du 27/09/2016                                                                                       |
| 9  | PNGouraya                              | Est - Béjaïa         | En cours           | DGF                                                                                                                                  |
| 10 | PNTaza (1) (4)                         | Est - Jijel          | En cours           | DGF                                                                                                                                  |
| 11 | Réserve de Collo, île M'ta             | Est - Cap Bougarouni | Projet             | Wilaya                                                                                                                               |
| 12 | Cap de Fer Est                         | Skikda               | Projet             | ?                                                                                                                                    |
| 13 | <b>Mont de l'Edough<sup>(4)</sup></b>  | <b>Est - Annaba</b>  | <b>AMP Classée</b> | <b>Wilaya</b>                                                                                                                        |
| 14 | Cap de Garde                           | Est - Annaba         | AMP Classée        | Wilaya                                                                                                                               |
| 15 | PNEK (1) (2) (3)                       | Est - El Kala        | Classé             | DGF                                                                                                                                  |
| 16 | Banc Le Sec (4)                        | Est - El Kala        | Projet             | ?                                                                                                                                    |

Bien que les Aires Marines Protégées (AMP) soient des outils essentiels de conservation, elles sont confrontées à de nouvelles pressions, notamment l'essor des projets de dessalement côtier. En Algérie, un programme ambitieux prévoit de couvrir 60 % des besoins en eau potable par dessalement d'ici 2030, avec 25 stations réparties sur 14 wilayas. La station de Koudiet Eddraouche (El Tarf) (Fig. 4), inaugurée en 2025, approvisionnera plusieurs régions proches d'une AMP existante. Cependant, le dessalement génère des rejets de saumures très concentrées en sels, métaux lourds et composés organiques, pouvant atteindre 50 à 80 g/l, contre 35 g/l pour l'eau de mer en Méditerranée. Si la dilution naturelle limite les effets à court terme, un rejet massif et prolongé pourrait altérer la chimie de l'eau, menaçant les écosystèmes marins, notamment les herbiers de *P. oceanica*. Ces habitats sensibles risquent de subir stress, ralentissement de la croissance et mortalité accrue. Pour préserver la biodiversité au sein des AMP, une gestion rigoureuse et des études d'impact environnemental approfondies sont indispensables afin de limiter les risques associés au développement du dessalement côtier.



Figure 4: Photographie montrant la station de dessalement Koudiet Draouche dans la wilaya d'El Tarf à environ 50 Km à l'Est de l'AMPmE

La réussite d'une Aire Marine Protégée (AMP) dépend principalement de la qualité de sa gouvernance, fondée sur la participation locale, la transparence et l'intégration des savoirs traditionnels. Une gestion adaptative, basée sur un suivi régulier, permet d'ajuster les mesures de conservation face aux dynamiques écologiques et socio-économiques, notamment en Méditerranée. La planification spatiale marine (PSM) complète cette approche en conciliant conservation et usages maritimes (pêche, tourisme, navigation) à travers la délimitation de zones spécifiques, favorisant ainsi une gestion durable et intégrée des espaces marins.

Les herbiers de *P. oceanica* constituent un habitat clé pour la conservation marine en Méditerranée en raison de leur importance écologique et de leur vulnérabilité (Fig. 5). Espèce endémique, *P. oceanica* forme des prairies marines couvrant environ 35 000 km<sup>2</sup>, soit 23 % du plateau continental méditerranéen (Pasqualini et *al.*, 1998).



Figure 5: Photographie de prairies de *P. oceanica* formé par des clones sur 15 km (Arnaud-Haond et *al.*, (2012)

La répartition spatiale de cette espèce est cependant inégale et influencée par divers facteurs abiotiques. Elle est présente sur la majorité des côtes méditerranéennes (Fig. 6), aussi bien au nord (France, Corse, Italie, Croatie, Grèce, Turquie) qu'au sud (Algérie, Tunisie, Libye), mais elle est absente ou très peu représentée dans certaines régions. À l'ouest, *P. oceanica* disparaît peu avant le détroit de Gibraltar, entre Calaburras au nord et Melilla au sud (Conde Poyales, 1989). À l'est, elle est absente du littoral égyptien situé à l'est du delta du Nil, ainsi que des côtes de Palestine, du Liban et de la Syrie (Por, 1978). Elle ne pénètre pas dans la mer de Marmara ni en mer Noire, bien qu'une station "relique" ait été observée à l'entrée de la mer de Marmara (Meinesz et *al.*, 2010).

Dans certaines zones comme l'extrême nord de l'Adriatique (Gamulin-Brida et *al.*, 1973) et le littoral languedocien entre la Camargue et Port-la-Nouvelle (Boudouresque et Meinesz, 1982), *P. oceanica* est rare ou totalement absente. Cette absence est généralement corrélée à des conditions environnementales défavorables, notamment les températures estivales élevées dans le sud-est du bassin (Çelebi et *al.*, 2006), la turbidité excessive des eaux ou la nature instable des substrats.

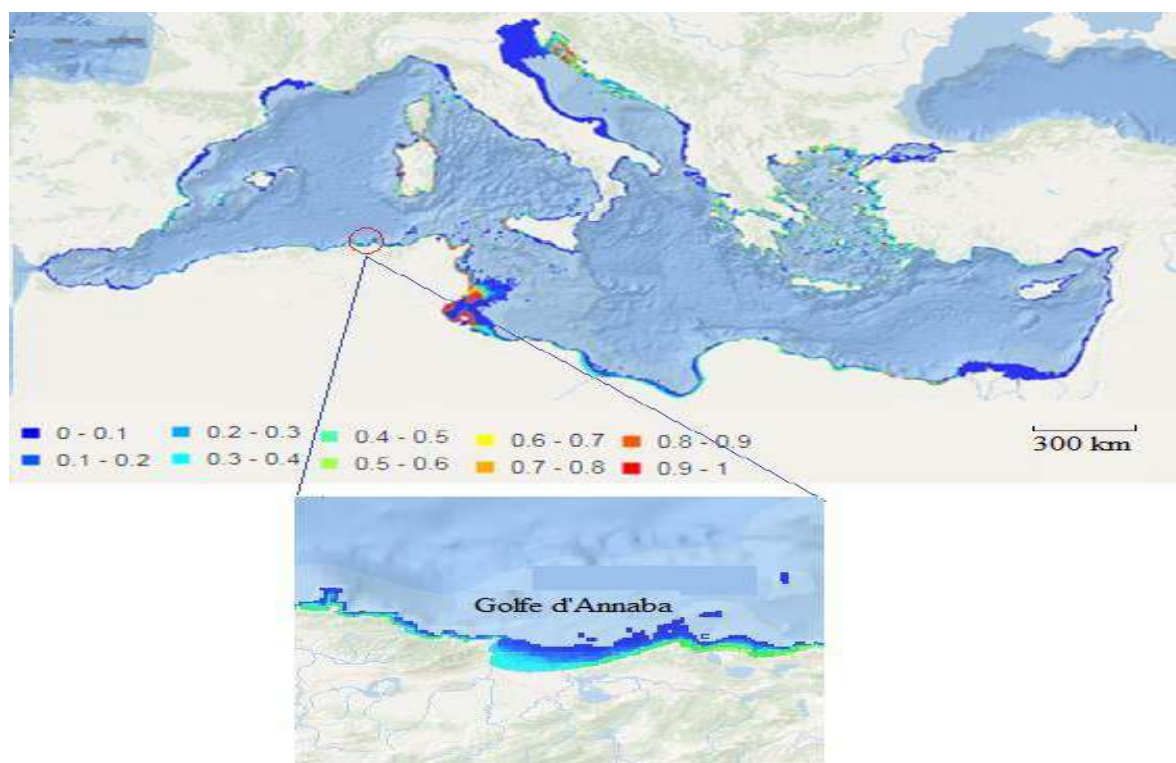


Figure 6: Distribution de *P. oceanica* dans les côtes méditerranéenne. Probabilité d'occurrence: de 0 absent à 1présent (EMODnet, 2023, modifiée)

En Algérie, les travaux pionniers de Ktari-Chakroun et d'autres chercheurs à la fin du XX<sup>ème</sup> siècle se sont concentrés sur la distribution des herbiers, notamment dans les régions d'Alger, Oran et Annaba (Semroud, 1993). Ces études ont permis de cartographier des prairies sous forme de platineaux, de mattes mortes ou de bancs, avec des recouvrements hétérogènes selon les substrats et les pressions anthropiques.

Les recherches récentes, comme celles de Boumaza et *al.* (2014) à Annaba et de Hadj Mabrouk et *al.* (2018) à Skikda et Jijel, ont révélé un recul progressif des herbiers de *P. oceanica* en raison de facteurs multiples : changement climatique, urbanisation côtière, ancrage illégal et pollution marine. Les données satellitaires et in situ confirment une élévation significative des températures estivales de l'eau, dépassant les seuils de tolérance de l'espèce dans certaines baies (Benhissoune et *al.*, 2021).

Les services écosystémiques fournis par *P. oceanica* sont nombreux et essentiels (Fig. 7): séquestration du carbone, protection contre l'érosion côtière, production d'oxygène, soutien à la biodiversité marine et contribution à la chaîne alimentaire. Ces herbiers abritent une biodiversité remarquable, servent de nurseries pour de nombreuses espèces marines, et stabilisent les sédiments, réduisant la turbidité de l'eau. Ils jouent aussi un rôle de bioindicateur précieux pour le suivi de la qualité environnementale (Boudouresque, 2012).

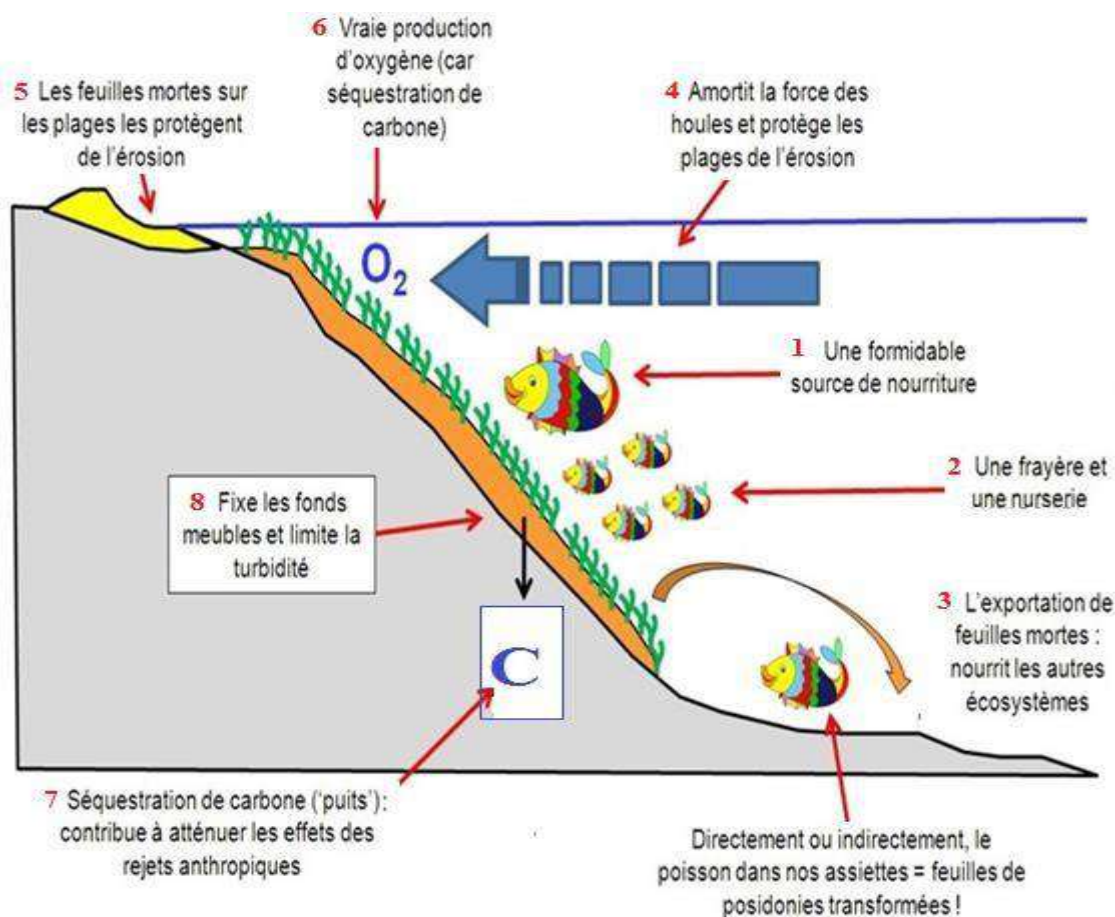


Figure 7: Rôle de l'herbier à *P. oceanica* dans le fonctionnement des systèmes littoraux en Méditerranée (Boudouresque, 2013)

L'importance économique de ces prairies est considérable. Leur valeur estimée varie de 19000 \$US /ha /an (1997) à plus de 1,72.10<sup>6</sup> €/ha/an selon des estimations récentes en contexte méditerranéen (Campagne et *al.*, 2015). A Punta Campanella, en Italie, les services écosystémiques rendus par *P. oceanica* ont été évalués à plus de 3.10<sup>6</sup> €/ an (Buonocore et *al.*, 2020). Par ailleurs, la capacité des herbiers à piéger les sédiments et à protéger les plages contre les tempêtes en fait un atout majeur pour la résilience côtière (Boudouresque et Meinesz, 1982).

Bien que *P. oceanica* soit actuellement classée comme espèce de «préoccupation mineure» sur la Liste rouge des espèces marines menacées en Méditerranée, ses herbiers sont très connus comme des habitats naturels d'intérêt prioritaire selon l'annexe I de la directive européenne 92/43/CEE relative à la conservation des habitats, de la faune et de la flore sauvages (UE, 1992). Cette reconnaissance témoigne de leur valeur écologique exceptionnelle. Toutefois, cette espèce emblématique subit un déclin préoccupant, conséquence d'une combinaison complexe de pressions locales d'origine anthropique et de perturbations globales liées aux changements environnementaux (Coll et *al.*, 2012; Katsanevakis et *al.*, 2014; Randone et *al.*, 2017).

Ce recul est alimenté par des facteurs souvent interconnectés, notamment l'artificialisation croissante du littoral, la pollution des eaux côtières, l'introduction d'espèces exotiques envahissantes, des pratiques de pêche non sélectives, le développement touristique non durable, ainsi que les effets systémiques du changement climatique, tels que le réchauffement des eaux, l'acidification des océans et l'élévation du niveau marin (Zunino et *al.*, 2017). Les projections établies par le GIEC (2014) laissent présager une intensification de ces phénomènes, faisant peser une menace croissante sur la pérennité des herbiers de *P. oceanica* (Gattuso et *al.*, 2015; Chefaoui et *al.*, 2018; Zunino et *al.*, 2019).

A ces pressions s'ajoutent des événements extrêmes – tempêtes, épidémies, voire séismes – qui accentuent la vulnérabilité de ces écosystèmes (Duarte, 2002; Pergent et *al.*, 2014). Par ailleurs, dans les régions littorales fortement urbanisées, le recul des herbiers est particulièrement marqué (Boudouresque et *al.*, 2009; Giakoumi et *al.*, 2013).

Selon les estimations de Marbà et *al.* (2014), environ 67,6 % des pertes observées sont imputables à des impacts physiques directs liés aux activités humaines. Dans les zones bénéficiant de suivis historiques fiables, représentant une superficie d'environ 368.837 hectares, une régression de 34 % de la couverture herbacée a été constatée au cours des cinq dernières décennies (Telesca et *al.*, 2015). Plus inquiétant encore, des projections suggèrent que *P. oceanica* pourrait perdre jusqu'à 75 % de son aire de répartition actuelle à l'horizon 2050, avec un risque d'extinction fonctionnelle d'ici la fin du siècle (Chefaoui et *al.*, 2018).

La protection juridique de *P. oceanica* reste limitée malgré son importance. Toutefois, des efforts ont été entrepris depuis les années 1990 grâce à l'implication d'ONG, d'états et d'institutions internationales. Ces démarches ont permis l'inscription de *P. oceanica* et d'autres espèces marines vulnérables sur des listes d'espèces protégées. La conservation de l'herbier bénéficie aujourd'hui d'un cadre normatif incluant des mesures directes (protection des habitats) et indirectes (régulations limitant les impacts humains).

Face aux multiples menaces, la conservation des herbiers de *P. oceanica* requiert une approche intégrée alliant surveillance environnementale, réduction des pressions locales, atténuation des effets du changement climatique et renforcement des cadres réglementaires. La sensibilisation du public et l'engagement des communautés locales sont également essentiels pour assurer la résilience de cet habitat crucial pour l'équilibre écologique et la durabilité socio-économique des zones côtières méditerranéennes.

Depuis la Conférence de Rio (1992), l'approche écosystémique a renforcé la protection des herbiers de *P. oceanica* à travers plusieurs conventions internationales (Fig. 8). La Convention de Berne (1979) a été amendée en 1996 pour intégrer cette espèce, tandis que la

Convention de Barcelone (1976) l'a incluse via son protocole sur les Aires Spécialement Protégées. La Directive Habitats 92/43/CEE reconnaît l'habitat des herbiers à posidonie comme prioritaire, imposant la création de Zones Spéciales de Conservation. Enfin, l'association MedPAN, active depuis 2008, soutient la gestion des Aires Marines Protégées et la coopération régionale pour préserver ces écosystèmes (Platini, 2000).



Figure 8: Sigle des Conventions de Ramsar (1971), Barcelone (1976), Berne (1979), la Conférence de Rio de Janeiro (1992), les Réseaux Natura 2000 et celui des gestionnaires d'aires marines protégées en Méditerranée (MedPAN) (2008).

En Algérie, la Loi relative à la protection et à la valorisation du littoral (n° 02-02 du 22 Dhou El Kaada 1422 correspondant au 5 février 2002, parue au Journal Officiel n° 10 du 12 février 2002) indique que “l’occupation et l’utilisation des sols littoraux doivent préserver les espaces terrestres et marins remarquables ou nécessaires au maintien des équilibres naturels. Sont concernés par la présente disposition, les côtes rocheuses d’intérêt écologique, les dunes littorales et les landes, les plages et les lidos, les forêts et les zones boisées littorales, les plans d’eau côtiers et leur proximité, les îlots et les îles et tous les sites d’intérêt écologique ou de valeur scientifique sur le littoral, tels que les récifs coralliens, les herbiers sous-marins et les formes ou formations côtières sous-marines”. Il faut savoir qu’en 2023 *P. oceanica*, emblème du patrimoine marin algérien a été représentée sur un timbre officiel (Fig. 9).



Figure 9: La *P. oceanica*, emblème du patrimoine marin algérien sur un timbre officiel: Emission N°: 12/2023, dessiné par Imene Belhadj Moustfa, taille: 26 x 36 mm (Algérie Poste, 2023).

Les travaux de Charles-François Boudouresque ont profondément marqué l'écologie marine méditerranéenne. Depuis les années 1970, il a étudié l'herbier de posidonie, soulignant son rôle écologique majeur: réservoir de biodiversité, stabilisateur de sédiments, puits de carbone et acteur du cycle des nutriments. Ses ouvrages de référence, tels que *Le rôle des herbiers à Posidonie* (1982) et *Guide des herbiers marins de Méditerranée* (2006), sont des piliers pour la recherche et la gestion des Aires Marines Protégées (AMP). Précurseur dans l'application du concept de services écosystémiques, Boudouresque a aussi démontré la sensibilité des herbiers aux perturbations humaines. Son approche a influencé de nombreux programmes de conservation, comme Natura 2000 ou la Convention de Barcelone. Dans «*Les forêts marines de France et de Méditerranée*» (Fig. 10), il compare les herbiers marins aux grandes forêts terrestres, insistant sur leur importance et leur vulnérabilité. Ses travaux restent la base incontournable de toute étude sur *P. oceanica*.

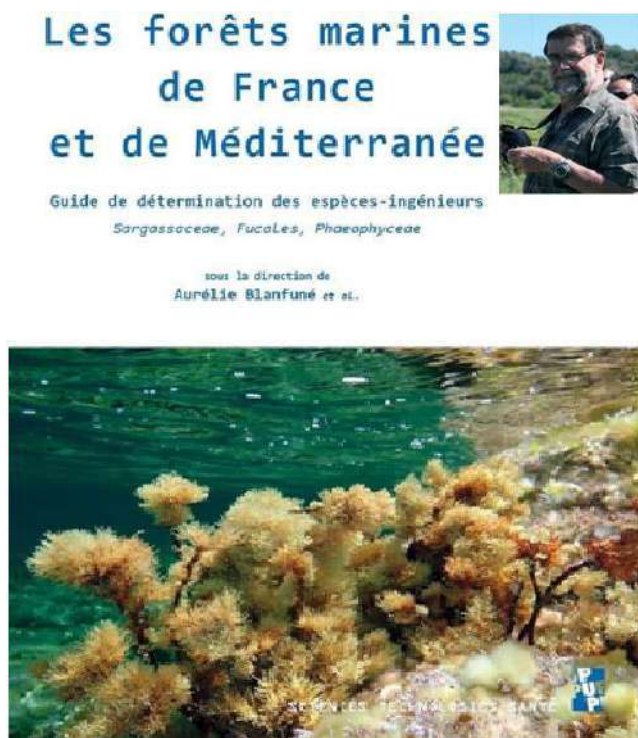


Figure 10: Ouvrage «Les forêts marines de France et de Méditerranée» Blanfuné et al., (2022)

En Algérie, les Aires Marines Protégées (AMP) restent peu nombreuses et insuffisamment exploitées pour une gestion intégrée. L'AMP des monts de l'Edough (AMPmE) constitue un nouveau site d'étude privilégié, avec une géomorphologie variée: côtes rocheuses, plages sableuses, reliefs escarpés dépassant 1000 m, ainsi que des zones écologiquement sensibles comme le Cap de Garde et les marais côtiers (Fig. 11). Cet espace est menacé par la

pression urbaine, l'érosion et la pollution. Il abrite des herbiers de *P. oceanica*, essentiels mais vulnérables. Toutefois, le manque de données actualisées et de cartographie précise freine l'élaboration d'une stratégie de conservation efficace.

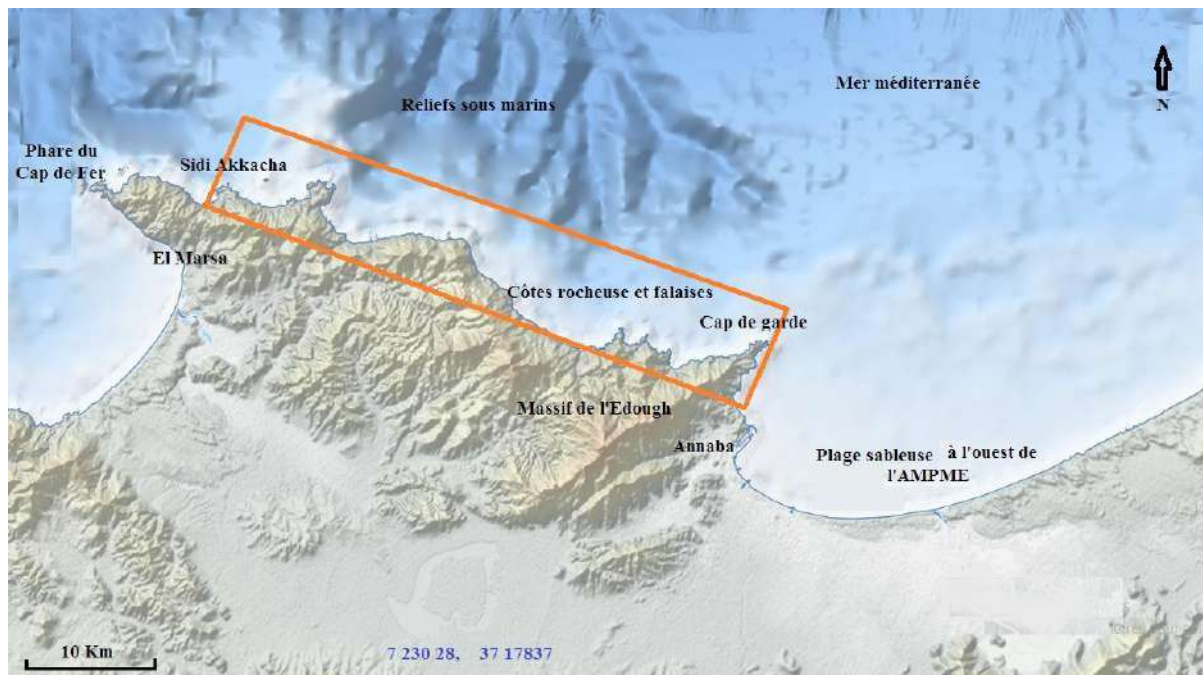


Figure 11: Carte montrant les reliefs sous-marins et structures géologiques de l'aire marine protégée des monts Edough (Est Algérien). 1: Plages sableuses; 2: Massifs de l'Edough; 3: Cotes rocheuses; 4: Reliefs sous marins; 5: l'AMP des monts Edough (EMODnet, 2025).

L'objectif de cette étude est de contribuer à la caractérisation écologique et spatiale des herbiers de *P. oceanica* dans l'AMP des monts Edough, afin d'appuyer la planification et la gestion de cet espace protégé. De manière spécifique, il s'agit de:

- Cartographier la distribution spatiale des herbiers de *P. oceanica* à l'aide de données de terrain, d'outils de géolocalisation et de systèmes d'information géographique (SIG);
- Analyser les paramètres physico-chimiques (température, salinité, pH, O<sub>2</sub>, matières en suspensions) qui influencent la répartition de ces herbiers;
- Identifier les types de substrats et les profondeurs associés aux différents faciès de *P. oceanica*;
- Évaluer les pressions anthropiques et naturelles susceptibles d'altérer ces écosystèmes dans la zone d'étude;
- Fournir des recommandations scientifiques pour l'aménagement et la gestion durable de l'AMP en intégrant les enjeux de résilience écologique face au changement climatique.

En somme, ce travail vise à renforcer les connaissances scientifiques sur *P. oceanica* en Algérie et à fournir des outils d'aide à la décision pour une gestion durable du littoral méditerranéen

---

# ***Matériels et méthodes***

---

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. La zone d'étude

#### 2.1.1. Localisation administrative de la wilaya d'Annaba

Située sur le littoral méditerranéen à l'extrême est de l'Algérie, la wilaya d'Annaba se trouve à environ 600 km à l'est d'Alger, entre les latitudes 36°30 et 37°30 Nord et les longitudes 07°20 et 08°40 Est.

Elle est délimitée au sud par Guelma, à l'ouest par Skikda, et à l'est par El Tarf. La wilaya couvre une superficie de 1412 km<sup>2</sup> et possède une façade maritime de 80 km (Fig. 12).

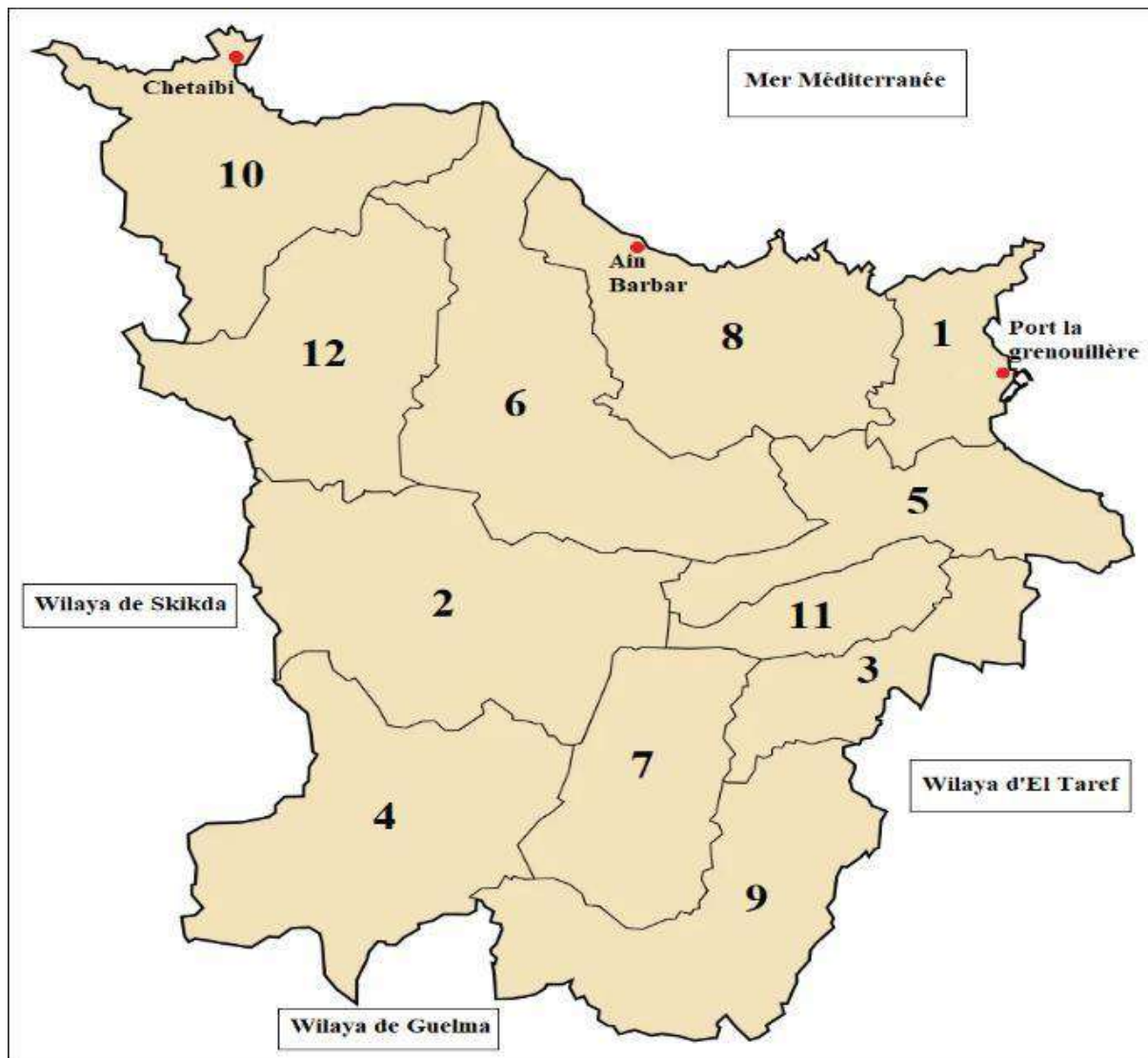


Figure 12: Carte montrant le découpage administratif de la wilaya d'Annaba et les limites de l'AMP des monts Edough.

**Daira d'Annaba:** 1: Annaba, 8: Seraïdi.

**Daira d'El Bouni:** 5: El Bouni.

**Daira d'El Hadjar:** 3: El Hadjar; 11: Sidi Amar.

**Daira de Chetaïbi:** 10: Chetaïbi.

**Daira de Berrahal:** 2: Berrahal; 6: Oued el Aneb; 12: Treat.

**Daira de Ain Berda:** 4: El Eulma; 7: Cheurfa; 9: Ain Berda.

La wilaya d’Annaba est composée de 12 communes réparties entre 6 daïras (Tab. 2) et compte environ 68 6624 habitants (Global Populations, 2025).

**Tableau 2:** Représentation des populations et des superficies des daïras et des communes de la wilaya d’Annaba (DB-City, 2025)

| Wilaya                     | Dairas       | Communes     | Population | Superficie Km² |
|----------------------------|--------------|--------------|------------|----------------|
| A<br>N<br>N<br>A<br>B<br>A | Ain el Berda | Ain el Berda | 20 611     | 139            |
|                            |              | Cheurfa      | 9 875      | 98             |
|                            |              | El Eulma     | 10 316     | 161            |
|                            | Annaba       | Annaba       | 257 359    | 49             |
|                            |              | Seraidi      | 7 626      | 138            |
|                            | Berrahal     | Berrahal     | 22631      | 180            |
|                            |              | Oued El Aneb | 21088      | 190            |
|                            |              | Treat        | 6 076      | 126            |
|                            |              | Chetaïbi     | 8 035      | 134            |
|                            | Chetaïbi     | El Bouni     | 125 265    | 94             |
|                            | El Bouni     | El Hadjar    | 37 364     | 63             |
|                            | El Hadjar    | Sidi Amar    | 83 254     | 42             |

Annaba dispose de 5 ports, 3 de pêche: La Grenouillère, AinBarbar et Chetaïbi, 1 port commercial et 1 port de plaisance et de 5 zones d'expansion touristique (ZET) (Décrets exécutifs n°88-232 et n°10-131 du 29 avril 2010): Oued Bagrat, la Corniche, Sidi Salem, la Baie Ouest et Chetaïbi (Tab. 3).

**Tableau 3:** \*Représentation des zones d’expansion touristique (ZET) de la wilaya d’Annaba (Direction du Tourisme et de l’Artisanat d’Annaba, 2024)

| Communes     | Dénomination des ZET | Superficie (ha) |
|--------------|----------------------|-----------------|
| Seraidi      | Oued bagrat          | 1375            |
| Annaba       | La corniche          | 356             |
| El bouni     | Sidi Salem           | 36              |
| Chétaïbi     | La Baie Ouest        | 328             |
| Chétaïbi     | Chétaïbi             | 340             |
| <b>Total</b> | <b>5</b>             | <b>2263</b>     |

La wilaya d'Annaba est située sur un site qui allie une vaste baie en forme de faucille, abritée des vents du nord-ouest par le promontoire du Cap de Garde et une plaine qui s'étend immédiatement derrière la côte, au pied du massif forestier de l'Edough étalée sur 1 008 m, sur lequel la ville est adossée. Ce massif s’étend de la presqu’île du Cap de Garde jusqu’au Cap de Fer où se trouve l’AMP des monts Edough. Grâce à ses atouts stratégiques, comprenant sa position géostratégique, ses potentialités naturelles, son patrimoine historique, ses infrastructures variées et son climat tempéré, Annaba émerge comme un pôle industriel et touristique de premier plan. Cette dynamique exerce une pression significative sur la ville

comparable à celle observée dans d'autres grandes métropoles côtières algériennes, telles qu'Oran et Alger.

## 2.2. Description de la zone d'étude

Le transect côtier de l'AMP des monts Edough est situé à l'ouest de la ville d'Annaba. Il s'étend sur 66 km, entre le Cap de Garde à l'est (longitude 7° 47' E) et Sidi Akkacha à l'ouest (longitude 7° 30' E) couvrant une superficie de 4 880 ha. Limitée par la mer méditerranée au nord et bordée au sud par djebel l'Edough. Sur le plan administratif le Cap de garde dépend de la commune de Seraïdi, daïra d'Annaba et Sidi Akkacha dépend de la commune de Chetaïbi (Fig. 13).

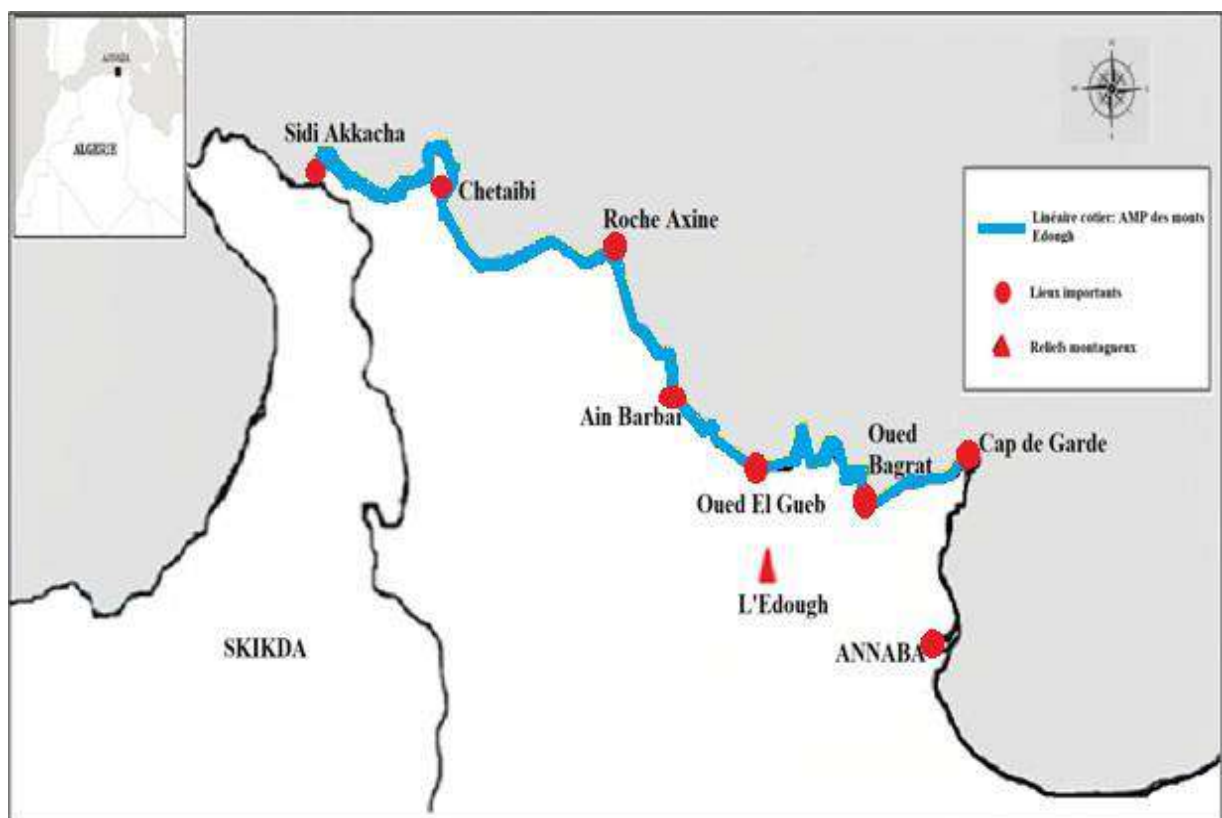


Figure 13: Carte montrant les délimitations terrestres de la zone d'étude de l'AMP de l'Edough. Le linéaire côtier (en bleu) indique les limites de l'AMP, située entre le Cap de Garde et Sidi Akkacha, bordé au nord par la mer Méditerranée et au sud par le massif de l'Edough (Décision n° 2261)

## 2.3. Géomorphologie et hydrodynamisme

La région d'Annaba fait partie du complexe géologique du Tell en Algérie et son sous-sol présente deux types majeurs de formations géologiques:

- Les terrains sédimentaires: Formés par l'accumulation de sédiments marins tels que sables, grès, calcaires, et marnes, déposés principalement en milieu marin peu profond. Ces sédiments, progressivement compactés, ont donné naissance aux formations sédimentaires qui

caractérisent cette région. Les terrains métamorphiques: Ces terrains résultent de la transformation de roches préexistantes sous l'effet de fortes pressions et températures, en lien avec l'activité tectonique de la région. Souvent cristallins, ils témoignent de la complexité tectonique d'Annaba, influencée par les interactions entre les plaques africaine et eurasiennne.

Cette diversité géologique confère à la région une richesse en formations variées, jouant un rôle clé dans la compréhension de l'évolution géologique du nord-est de l'Algérie.

Du point de vue littoral, Annaba présente deux faciès distincts. A l'Est, la baie d'Annaba est fortement urbanisée, avec un port commercial majeur et un complexe industriel qui fait de cette zone un pôle de sidérurgie et de production d'engrais azotés. Cette activité confère à cette partie du littoral une pression anthropique élevée, typique des grandes métropoles côtières.

A l'Ouest, la configuration géographique marque l'entrée de l'Aire Marine Protégée (AMPmE), où le littoral se distingue par son caractère naturel et abrupt. Cette zone comprend environ 600 m de plages sablonneuses et 2400 m de côte rocheuse, souvent difficilement accessible, avec des formations montagneuses qui plongent directement dans la mer. Du Cap Tekouch au Cap de Garde, le littoral présente une topographie accidentée jusqu'à une profondeur de -30 m, à l'exception de certaines plages, comme celles de la baie de Tekouch, Aïn Barbar, Pain de Sucre, Voiles Noires et oued Bagrat, où le substrat est majoritairement sableux. Au-delà de cette profondeur, le substrat devient essentiellement meuble, avec une composition sableuse ou sablo-vaseuse, et peut atteindre jusqu'à -100 m dans la baie de Tekouch.

À mesure que l'on s'approche du Cap de Garde, une large ceinture de coralligènes, mêlée de gravier, s'étend entre le Cap Axine et Aïn Barbar, avant de laisser place à des fonds sableux jusqu'au Pain de Sucre. Entre ce dernier et le Cap de Garde, le substrat devient plus consolidé, avec une couverture de végétation côtière et des formations coralligènes jusqu'à une profondeur de -90 m. Près du Cap de Garde, le substrat côtier est dominé par des roches, entrecoupées de zones de sable, sablons calcaires et siliceux, graviers calcaires et d'herbiers de posidonie, qui forment parfois de larges ceintures continues jusqu'à -25 m.

Le Cap de Garde forme un éperon naturel qui délimite deux systèmes hydrodynamiques distincts: le premier, baignant la partie Ouest dans un flux nord-sud, est plus puissant et plus intense que le second, comme en témoignent les falaises et massifs rocheux s'étendant du Cap de Fer jusqu'au Cap de Garde (Fig. 14). Dans cette zone, la marge continentale se divise en 3 sections:

- une bordure littorale étroite et accidentée,

- une plateforme continentale plane qui se prolonge vers le Nord-Est,
- un glacis continental amorcé par un rebord faiblement marqué.



Figure 14: Photographie montrant le Cap de garde extrémité Est de l'AMP des monts Edough (Décision n° 2261)

Le littoral environnant repose sur un glacis continental à pente douce qui s'étend jusqu'à une plateforme relativement étroite. Ce glacis, hétérogène en fond, devient particulièrement accidenté près du Cap de Garde, où les isobathes de -50 m et -100 m se rapprochent parallèlement de la côte. Le substrat, en s'approfondissant jusqu'à -30 m, devient plus irrégulier, formé de roches consolidées recouvertes de végétation côtière et de coralligène jusqu'à -90 m. Les plages (Pain de Sucre, Voiles Noires, Oued Begrat) présentent des fonds sableux, s'étendant jusqu'au Cap Tekouch (Derbal, 2007). Près du Cap, le substrat est principalement rocheux, entrecoupé de sable, graviers calcaires, et de vastes herbiers de posidonie s'étendant jusqu'à -25 m (Derbal, 2007).

Le second système hydrodynamique de la région présente une déclivité régulière et faible, avec des isobathes parallèles, régulièrement espacées, et une profondeur moyenne estimée à 50 m. Cet espacement des isobathes confère à la baie d'Annaba un rôle de bassin de sédimentation, favorisant l'accumulation de dépôts (UNEP, 2005).

Dans l'AMP mE, plusieurs hauts-fonds se distinguent, avec des dénivellations notables:

- la seiche "Tekouch" (13 m de profondeur minimale),
- la roche "Axine" (30 m),

- la seiche "AïnBarbar" (40 m),
- la petite "Seiche" (13 m),
- la roche du "Vautour" (8 m),
- la roche "Saint Joseph" (13 m) (Seridi, 2017)

### 2.3.1. Courants principaux influençant l'AMP des monts Edough

Les Courants principaux influençant l'AMP des monts Edough incluent:

- **Le courant algérien** (dominant), qui se déplace d'ouest en est sous l'effet de la force de Coriolis, transportant les eaux atlantiques plus fraîches vers l'Est (Fig. 15).
- **Le courant de surface** dirigé d'ouest en est, avec des vitesses variant selon les saisons, et plus intense en hiver.
- **Les vents** (Mistral et Grégal), affectent temporairement les courants; le Mistral, venant du nord-ouest, pousse l'eau vers le sud, tandis que le Grégal, du Nord-Est, peut décaler les eaux vers l'ouest le long des côtes (Millot, 1987).
- 

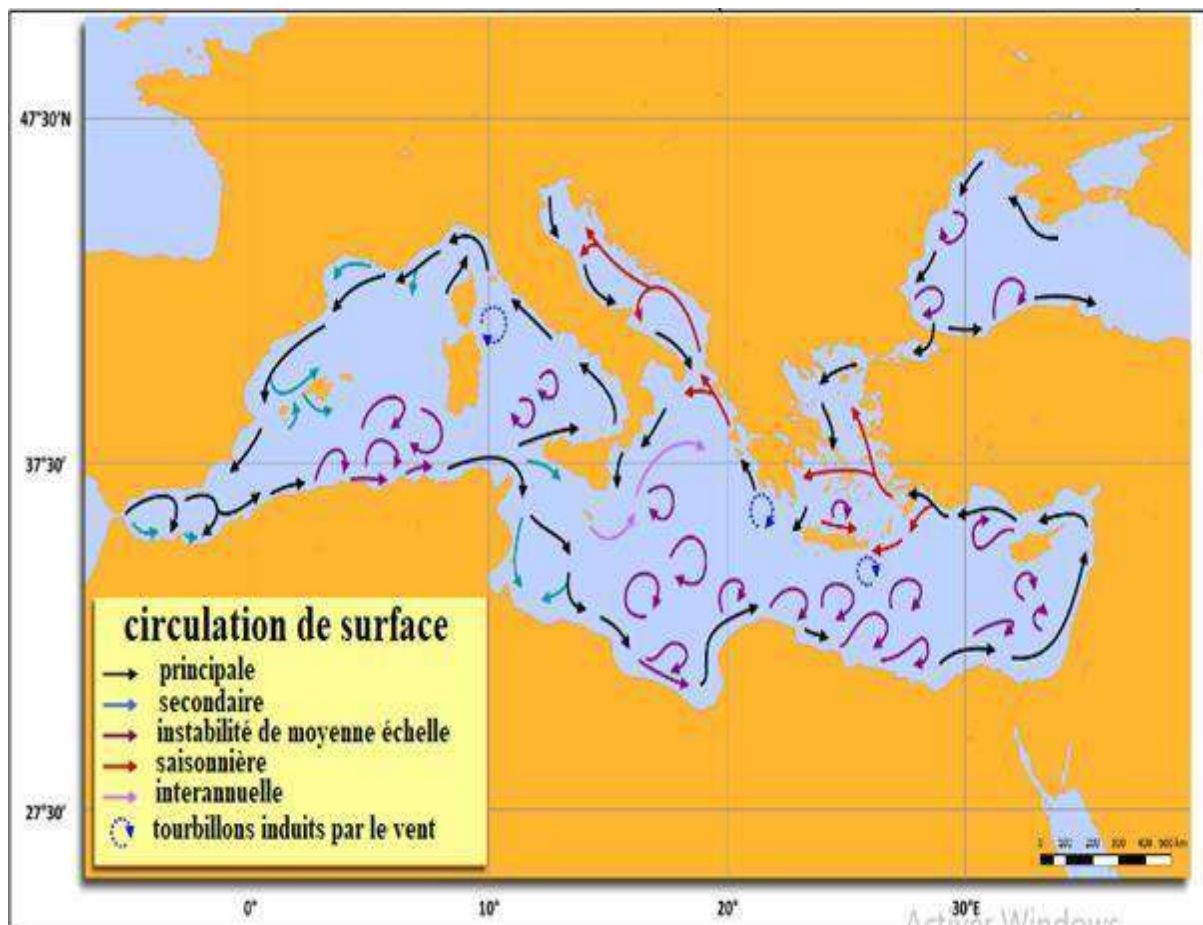


Figure 15: Carte représentant la circulation des eaux de surface d'origine atlantique selon Millot et Taupier-Letage, (2005) modifiée.

## 2.4. Contexte biologique

Le plancton constitue la base des réseaux trophiques marins de la région d'Annaba. Malgré une exploration encore partielle, la diversité du phytoplancton y est notable, avec environ 303 espèces identifiées par imagerie satellitaire. Le golfe d'Annaba héberge notamment 47 espèces du genre *Tripos* (dinoflagellés), principalement d'affinité tropicale et subtropicale, ainsi que plusieurs espèces toxiques telles que *Alexandrium catenella* et *Lingulodinium polyedra*, signalées pour la première fois dans cette région entre 2004 et 2007 (Seridi, 2017).

Le zooplancton est également très diversifié, avec 457 espèces recensées, dont 218 copépodes à signature atlantique, témoignant de l'influence du courant algérien. Le littoral abrite également une flore macroalgale importante, composée de 495 taxons, enrichis récemment de 27 espèces. Les phanérogames marines, dont *Cymodocea nodosa*, *Zostera noltei* et *P. oceanica*, y occupent une place structurante. Ces herbiers sont essentiels au maintien des équilibres côtiers, à la stabilisation des sédiments et à la biodiversité benthique (Seridi, 2017).

Dans ce contexte, *P. oceanica*, espèce emblématique de la Méditerranée, fait l'objet d'une attention particulière dans cette étude. Sa biologie spécifique et ses interactions avec le milieu guident la stratégie d'échantillonnage et les méthodes d'analyse.

## 2.5. Biologie et écologie de *Posidonia oceanica*

*Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile, (1813) est une angiosperme marine endémique de la Méditerranée. Elle appartient à la famille des Posidoniaceae, un groupe monogénérique intégré à l'ordre des Alismatales. D'un point de vue phylogénétique, ce taxon ancien, probablement d'origine australienne, aurait connu une large distribution au Crétacé supérieur avant de se restreindre à la Méditerranée et à l'océan Austral (Kuo & McComb, 1989). La différenciation évolutive de *P. oceanica* en Méditerranée s'est opérée au cours de millions d'années, lui conférant une forte spécificité écologique.

Sur le plan systématique, *P. oceanica* est classée ainsi (Guiry & Guiry, 2025) :

- Règne: Plantae
- Sous-règne: Viridaeplantae
- Phylum: Tracheophyta
- Sous-phylum: Spermatophytina
- Sous-classe: Magnoliidae
- Super-ordre: Lilianae
- Ordre: Alismatales
- Famille: Posidoniaceae

- Genre: *Posidonia*
- Espèce: *Posidonia oceanica*

La morphologie de *P. oceanica* (Fig. 16) est hautement spécialisée pour la vie subaquatique. Elle comprend un système racinaire robuste, des rhizomes ligneux (plagiotropes à croissance horizontale et orthotropes à croissance verticale), des faisceaux foliaires, ainsi qu'un édifice sédimentaire appelé « matte » (Giraud, 1977; Meinesz et Laurent, 1978; Molinier et Picard, 1952; Caye, 1982).

Les feuilles, rubanées, mesurent en moyenne de 30 à 80 cm, pouvant atteindre jusqu'à 156 cm (Boudouresque et *al.*, 2006). Elles se renouvellent continuellement, selon un cycle de 5 à 13 mois et laissent à leur chute des gaines basales peu putrescibles appelées « écailles », qui participent à la constitution de la matte (Théllin et Bedhomme, 1983).

La reproduction sexuée, bien que sporadique, donne lieu à des inflorescences hermaphrodites, généralement observées à l'automne (Balestri et *al.*, 2018). Les fruits, surnommés « olives de mer », sont libérés entre mai et juillet et assurent la dispersion par flottaison (Den Hartog, 1970).

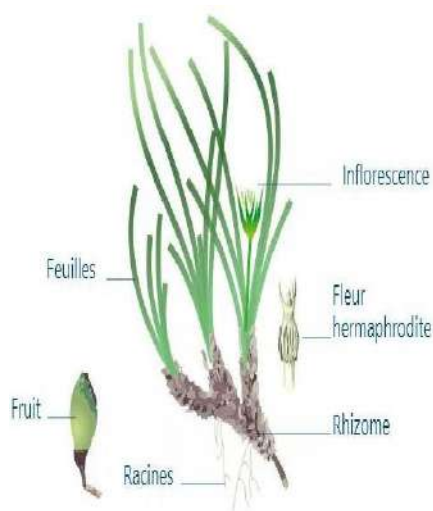


Figure 16: Morphologie de *P. oceanica*.

La matte, structure unique formée de rhizomes vivants et morts, de racines, d'écailles et de sédiments, constitue une archive écologique naturelle. Elle peut atteindre jusqu'à 8 m d'épaisseur et croît de l'ordre d'un mètre par siècle (Molinier et Picard, 1952; Boudouresque et Meinesz, 1982).

Enfin, la morphologie des herbiers varie selon les conditions locales. On distingue plusieurs types: herbiers de plaine, de colline, en escalier, tigrés ou encore en micro-atolls (Boudouresque et *al.*, 2006 ; Pergent et *al.*, 2007; Sghaier et *al.*, 2011). Cette diversité témoigne de la grande plasticité adaptative de l'espèce aux conditions environnementales.

La richesse écologique de la région d'Annaba, et plus particulièrement la présence d'écosystèmes sensibles tels que les herbiers à *P. oceanica*, justifie la nécessité d'un cadre réglementaire spécifique pour assurer leur préservation. En effet, la vulnérabilité de ces habitats face aux pressions anthropiques, conjuguée à leur rôle écologique majeur, a motivé de nombreuses initiatives de conservation.

C'est dans cette perspective que le site du Cap de Garde a été identifié comme une zone prioritaire pour la mise en œuvre d'une AMP, marquant ainsi l'articulation entre connaissances scientifiques et action réglementaire.

## **2.6. Contexte juridique**

L'idée de création d'une Aire Marine Protégée (AMP) au niveau du Cap de Garde remonte à 1993. Elle fut initiée par une équipe d'universitaires affiliée au Centre Universitaire de Plongée d'Annaba (CUPA), en raison des atouts écologiques, archéologiques et géomorphologiques exceptionnels du site. Ces caractéristiques répondaient aux critères recommandés par l'UNESCO pour les sites à haute valeur patrimoniale (Menail, 2000).

Entre 1983 et 1993, plus d'une centaine de plongées exploratoires ont été effectuées, accompagnées de près de dix années d'observations scientifiques. Ces travaux ont donné lieu à plusieurs publications de référence (Boukhenna et Rouag, 1999; Derbal, 1997; Frehi, 1995; Laifa et Lahmar, 1987). Malgré ces efforts, la création formelle de l'AMP ne s'est pas concrétisée à cette époque.

En 2005, le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) a reconnu le Cap de Garde comme un site bio-stratégique prioritaire, dans le cadre du Plan d'Action pour la Méditerranée (UNEP, 2005). L'année suivante, une procédure officielle de classement en AMP a été engagée par le Ministère algérien des Ressources en Eau et de l'Environnement (MREE). Cette démarche s'est inscrite dans le cadre du décret exécutif n° 87-143 du 16 juin 1987, définissant les modalités de création et de gestion des parcs nationaux et réserves naturelles (Grimes, 2012).

En 2014, le projet a été élargi et renommé «AMP des Monts de l'Edough», doublant la longueur de côte concernée et intégrant de nouveaux territoires maritimes. Ce renforcement a été soutenu par le programme de Gouvernance Environnementale et Biodiversité (GENBI), mis en œuvre par la coopération allemande (GIZ).

La reconnaissance juridique du site a été officialisée par la Décision n° 2261 du 4 septembre 2023, qui classe les Monts de l'Edough et leur zone maritime adjacente comme réserve naturelle nationale. Cette aire protégée couvre six communes: Annaba, Seraïdi, Chetaïbi, Oued El Aneb, El Tarf et Berrahal et s'étend sur une superficie totale de:

- Zone terrestre: 35 432 hectares
- Zone maritime: 4 880 hectares

La réserve est divisée en 3 zones (Fig. 15) la zone centrale, la zone tampon et la zone de transition.

- **Zone centrale:**

- Zone à haute valeur écologique, abritant des écosystèmes rares et fragiles.
- Seules les activités de recherche scientifique et de surveillance sont autorisées.
- Interdiction de toute forme de chasse, de collecte d'espèces ou de perturbation de l'équilibre naturel.

- **Zone tampon:**

- Zone entourant la zone centrale, destinée à des activités écologiques et de tourisme durable.
- Activités de recherche et de surveillance autorisées sous contrôle strict.
- Interdiction de la pêche intensive et de toute activité nuisible à l'environnement.

- **Zone de transition:**

- Zone périphérique où des activités de gestion durable sont autorisées, sous réserve de respecter les règles de protection de l'environnement (Fig. 17).

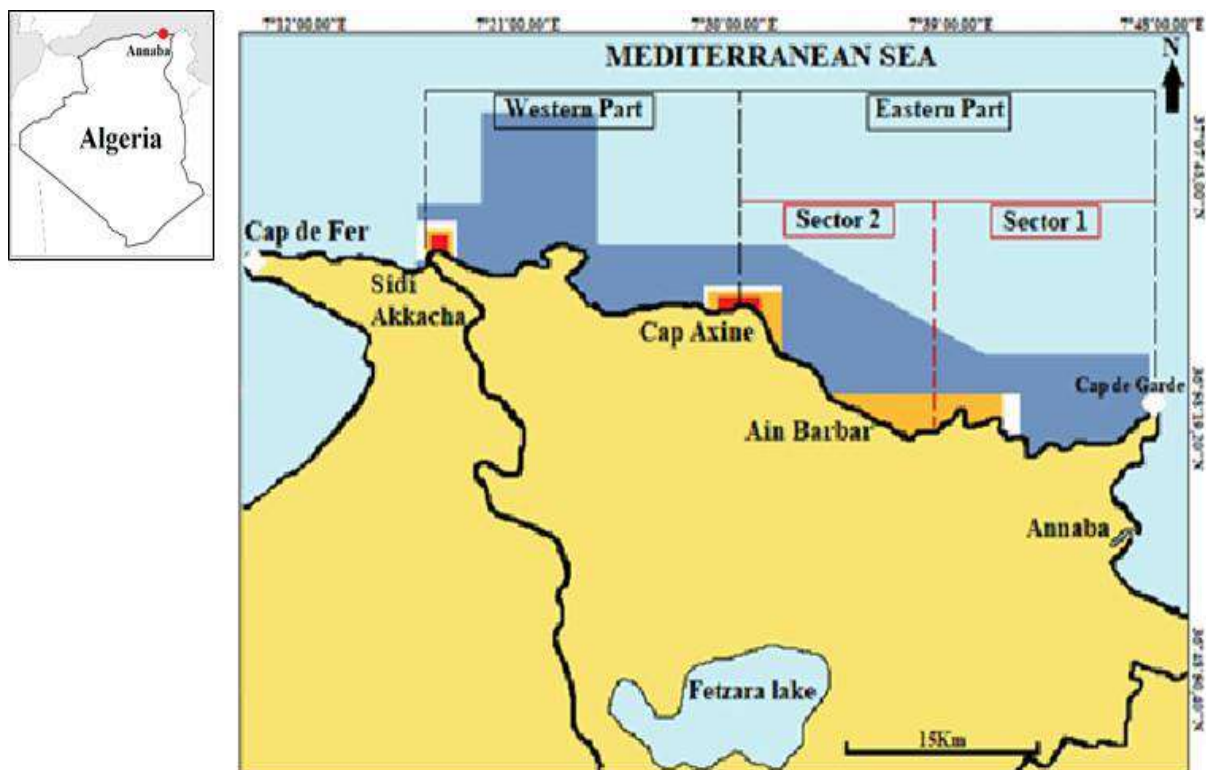


Figure 17: Carte montrant le zoning de l'AMP des monts Edough: en bleu la zone d'intérêt, en rouge la zone centrale, en orange la zone tampon et en blanc la zone de transition (Décision n° 2261)

Ce site comprend deux zones d'expansion touristique: Chetaïbi et Oued Bagrat, mais il est confronté à divers impacts anthropiques. Ces pressions se traduisent par une pêche illégale, une pêche de loisir non régulée, un tourisme en plein essor non encadré, ainsi qu'une augmentation de la fréquentation des sites environnants. Cette situation conduit à la saturation des espaces disponibles et à une pression croissante sur l'occupation de cette zone, entraînant une érosion de la biodiversité et une diminution de la richesse spécifique.

## 2.7. Mesure des paramètres physicochimiques

Des campagnes mensuelles de décembre 2022 jusqu'à novembre 2023 ont été menées pour mesurer les paramètres physico-chimiques des eaux de surface de l'AMP des monts Edough lors de la première semaine de chaque mois, entre 9 h et 12 h, en accord avec les recommandations des organismes internationaux tels que l'OMS (2004), à savoir la température (T), le pH, la salinité, l'O<sub>2</sub> dissous et les matières en suspension. Ces mesures ont été réalisées à chaque sortie de terrain à l'aide d'instruments de précision spécifiques le multiparamètre de terrain (Fig. 18).



Figure 18: Photographie montrant le multiparamètre étanche pour mesurer utilisé pour mesurer le pH, l'O<sub>2</sub>, la DO, la pression et la température dans l'eau (Hanna instruments - hi98196).

## 2.8. Localisation des fonds marins

Lors de ces campagnes mensuelles, des sorties en mer ont été effectuées à bord de pneumatiques de semi-rigides et d'hors bord (Fig. 19), permettant une couverture optimale des zones d'étude.



Figure 19: Photographies montrant les 3 types d'embarcations mobilisées pour l'échantillonnage en mer: (A) embarcation semi-rigide de type zodiaque, (B) bateau à moteur hors-bord, (C) kayak pneumatique.

Notre étude s'est basée sur la partie Est de l'AMP des Monts Edough, couvrant plus de la moitié du littoral protégé, soit une extension de 37 km. Cette zone a été divisée en deux

secteurs distincts. Le **secteur 1 (S1)** s'étend du Cap de Garde (longitude 7° 47' E) jusqu'au Pain de Sucre et comprend l'embouchure de Oued Bagrat. En revanche, le **secteur 2 (S2)** s'étend du Pain de Sucre jusqu'à Aïn Barbar (longitude 7° 30' E), incluant les embouchures des Oueds Semhoute et El Gueb (Fig. 20).

Chaque secteur a été subdivisé en 4 zones (Z), ce qui a permis d'établir un total de 278 stations d'échantillonnages (St.) (Fig. 20).

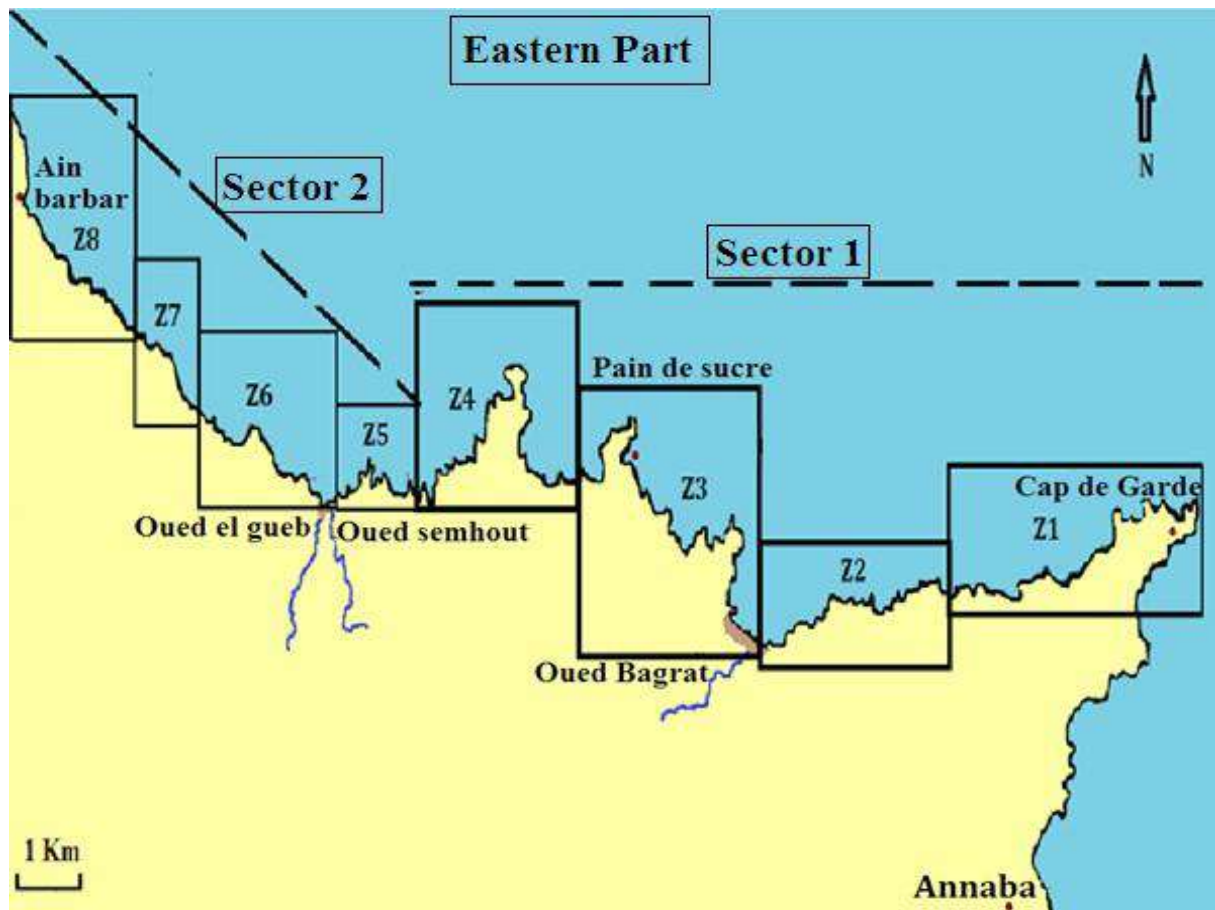


Figure 20: Carte montrant la subdivision de la partie Est de l'AMP des monts Edough. **Secteur 1:** Z1, Z2, Z3, Z4; **Secteur 2:** Z5, Z6, Z7, Z8. (Z: Zone)

Une cartographie mensuelle des herbiers de *P. oceanica* a été effectuée, au cours de laquelle nous avons évalué la composition du fond marin: *P. oceanica*, substrat meuble ou substrat dur, en fonction des observations visuelles à l'aide d'une lunette de calfat. La géo-référenciation des points d'échantillonnage a été réalisée avec un système de positionnement global (GARMIN GPS-12 Channel Handheld Personal Navigator), et des relevés réalisés sur le terrain à l'aide de papier calque et de crayon (Fig. 21).



Figure 21: Equipements utilisés pour le relevé des points vérité: (A) GPS Garmin portable pour la géolocalisation, (B) lunettes de calfat pour l'observation des fonds, (C) papier calque pour le report cartographique initial.

## 2.9. Mesure des profondeurs

Les profondeurs ont été mesurées à chaque station à l'aide d'un profondimètre et un plomb attaché à une corde graduée (Fig. 22). Ce dispositif a permis de recueillir des données bathymétriques précises sur les sites étudiés. Les relevés de profondeur ont été consignés manuellement sur du papier calque avec un crayon, afin de garantir une documentation exacte lors de chaque campagne.



Figure 22: Photographie montrant le dispositif de mesure de la profondeur sur le terrain: profondimètre électronique et corde graduée équipée d'un plomb pour les relevés bathymétriques.

## 2.10. Géoréférencement des données

Les points de relevé, ou points de vérité, ont été notés à l'aide de la cartographie manuelle sur du papier calque. Après la collecte, ces données ont été vérifiées et géoréférencées via la plateforme Google Earth. Enfin, les points géographiques ont été intégrés et analysés avec le logiciel ArcGIS pour assurer un géoréférencement précis et une analyse spatiale des données. Ce processus a permis d'obtenir des cartes détaillées de l'évolution des fonds marins sur la période des campagnes.

---

# *Résultats*

---

### 3. Résultats

#### 3.1. Physicochimie saisonnière des eaux superficielles de l'AMP monts Edough

##### 3.1.1. Températures

Les herbiers de *Posidonia oceanica*, espèce clé de voûte des écosystèmes méditerranéens, sont fortement influencés par les variations de température des eaux superficielles. Dans un contexte de réchauffement climatique, il devient crucial de suivre l'évolution de ces températures afin d'en évaluer les effets potentiels sur la santé et la répartition des herbiers. L'analyse présentée dans le tableau 4 et la figure. 23) compare les températures mensuelles des eaux superficielles pour les années 2021 et 2022, dans le but d'identifier d'éventuelles tendances et d'en mesurer les implications écologiques.

Tableau4: Dynamique thermique (T °C) des eaux de surface en 2021 et 2022

|           | Saison    | Année |       |
|-----------|-----------|-------|-------|
|           |           | 2021  | 2022  |
| Décembre  | Hiver     | 17,95 | 18,15 |
| Janvier   |           | 16,50 | 16,24 |
| Février   |           | 15,13 | 15,26 |
| Mars      | Printemps | 15,57 | 15,10 |
| Avril     |           | 16,32 | 15,89 |
| Mai       |           | 19,99 | 19,96 |
| Juin      | Eté       | 24,59 | 24,50 |
| Juillet   |           | 26,16 | 27,75 |
| Aout      |           | 29,07 | 28,94 |
| Septembre | Automne   | 26,97 | 28,08 |
| Octobre   |           | 23,22 | 25,11 |
| Novembre  |           | 20,12 | 22,56 |

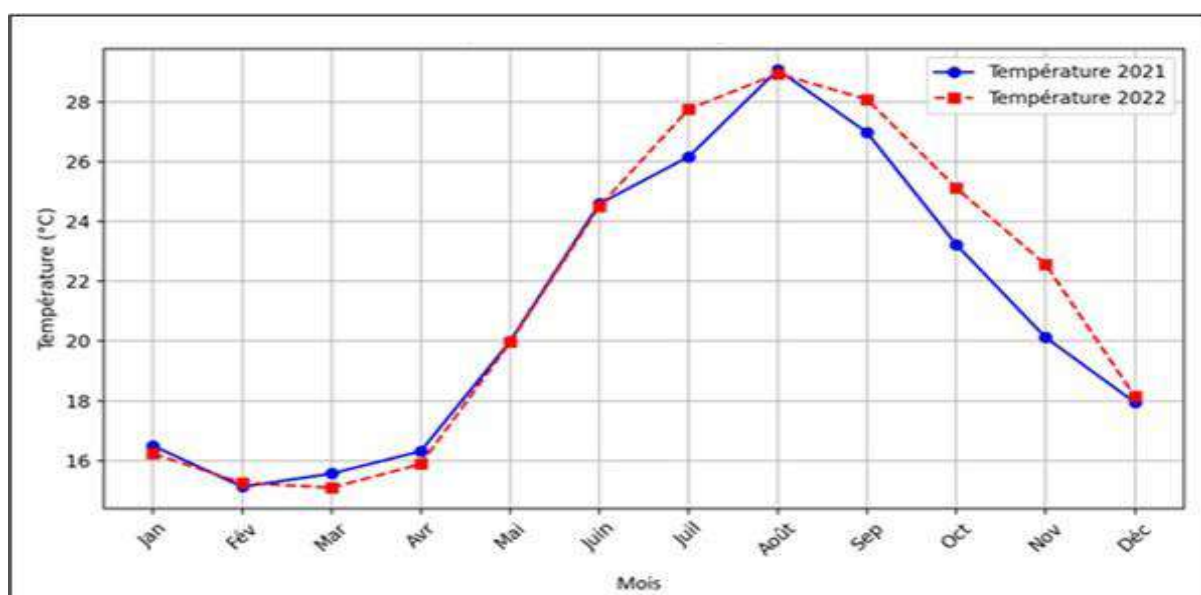


Figure 23 : Évolution mensuelle des températures des eaux superficielles (°C) en 2021 et 2022 dans AMPmE.

Les données révèlent une variation saisonnière classique, avec des températures minimales en hiver et maximales en été. Toutefois, des différences interannuelles sont notables, mettant en lumière l'influence de dynamiques climatiques spécifiques sur le régime thermique local. Le cycle annuel reste marqué, avec une montée progressive des températures du printemps à l'été, culminant en août à 29,07 °C en 2021 et 28,94 °C en 2022 (Fig. 23), avant de décroître en automne et en hiver.

Les températures hivernales (janvier à mars) demeurent relativement stables entre les deux années, oscillant entre 15,1 et 16,5 °C (Fig. 23), avec des écarts limités (maximum 0,5 °C). Au printemps (avril-mai), la température augmente graduellement pour atteindre environ 20 °C en mai, marquant le début de la saison chaude.

En été, les températures enregistrées en 2022 sont légèrement plus élevées qu'en 2021 (Fig. 21), notamment en juillet (+1,59 °C) et en septembre (+1,11 °C), traduisant un réchauffement plus marqué. Cette tendance se prolonge en automne, avec des écarts significatifs observés en octobre (+1,89 °C) et en novembre (+2,44 °C), indiquant un ralentissement du refroidissement saisonnier (Tab. 5).

Tableau 5: Limites des températures (°C) des eaux superficielles enregistrées en 2021 et 2022

| Températures | Année                    |                                                    |
|--------------|--------------------------|----------------------------------------------------|
|              | 2021                     | 2022                                               |
| Moyenne      | 20,24                    | 21,02                                              |
| Maximale     | 29,07 en août            | 28,94(Août)                                        |
| Minimale     | 15,13 en février         | 15,10 (Mars)                                       |
| Écart type   | 4,77 variabilité modérée | 5,10 variabilité légèrement plus élevée qu'en 2021 |

La température moyenne des eaux superficielles a augmenté de 0,78 °C en 2022 par rapport à 2021, reflétant une tendance au réchauffement. Bien que les températures maximales soient restées stables 29,07 °C en 2021 contre 28,94 °C en 2022 et que les températures minimales soient similaires 15,13 °C en 2021 contre 15,10 °C en 2022, des variations significatives ont été observées à l'échelle mensuelle. Les mois les plus chauds, notamment juillet, août et septembre, montrent une légère augmentation en 2022, avec des écarts notables en juillet +1,59 °C et en septembre +1,11 °C. Il en est de même durant les mois estivaux et automnaux (d'octobre à décembre) présentent une augmentation notable des températures en 2022, suggérant une prolongation des conditions plus chaudes au-delà de la période estivale. Ainsi, les écarts de température observés entre 2021 et 2022 indiquent une tendance au réchauffement, notamment en été et en automne.

### 3.1.2. Salinités

La salinité est un paramètre fondamental dans la caractérisation des environnements marins, influençant directement la distribution et la physiologie des organismes marins, notamment *P. oceanica*. Elle est déterminée par plusieurs facteurs, tels que l'évaporation, les précipitations, les apports en eau douce des oueds, ainsi que les courants marins. Une variation de la salinité peut impacter la croissance des herbiers sous-marins et modifier l'équilibre des écosystèmes côtiers.

L'analyse synthétique des mesures mensuelles des salinités des eaux superficielles en 2021 et 2022 (Tab. 6; Fig. 24) montrent une dynamique saisonnière marquée, avec des variations qui traduisent l'influence combinée de facteurs climatiques (évaporation, précipitations) et hydrologiques (apports d'eau douce, courants marins).

Tableau 6: Evolution mensuelle de la salinité des eaux superficielles en 2021 et 2022

| Année     | Saison    | Année |       |
|-----------|-----------|-------|-------|
|           |           | 2021  | 2022  |
| Décembre  | Hiver     | 37,09 | 38,00 |
| Janvier   |           | 35,99 | 36,67 |
| Février   |           | 37,29 | 36,61 |
| Mars      | Printemps | 36,94 | 36,75 |
| Avril     |           | 36,91 | 37,11 |
| Mai       |           | 36,82 | 36,90 |
| Juin      | Eté       | 37,09 | 36,64 |
| Juillet   |           | 37,01 | 36,89 |
| Aout      |           | 37,17 | 37,18 |
| Septembre | Automne   | 37,01 | 37,54 |
| Octobre   |           | 36,86 | 37,35 |
| Novembre  |           | 36,59 | 37,34 |

Les tendances générales montrent qu'en 2021, la salinité varie entre 35,99 PSU (janvier) et 37,29 PSU (février) alors qu'en 2022, elle est comprise entre 36,61 PSU (février) et 38,00 (décembre). On observe ainsi une hausse globale de la salinité en 2022, particulièrement marquée en automne et en hiver. Si nous établissons une comparaison saisonnière on note qu'en hiver (janvier à mars) de l'année 2022, les valeurs sont globalement plus élevées qu'en 2021, notamment en janvier (+0,68) et mars (+0,19). Cette hausse peut indiquer une réduction des apports d'eau douce durant cette période. Au printemps (avril à juin), l'écart est plus modéré. Avril 2022 présente une légère augmentation (+0,20), mais juin montre une baisse (-0,45), suggérant une influence plus variable selon les mois (Tab. 6). En été (juillet à septembre), la salinité reste élevée dans les deux années cependant en septembre 2022, une augmentation marquée est enregistrée (+0,53) par rapport à 2021. Enfin, en automne

(octobre à décembre) la hausse est nette en 2022, avec des écarts significatifs: octobre (+0,49), novembre (+0,75) et décembre (+0,91), ce dernier atteignant le maximum annuel (38 PSU).

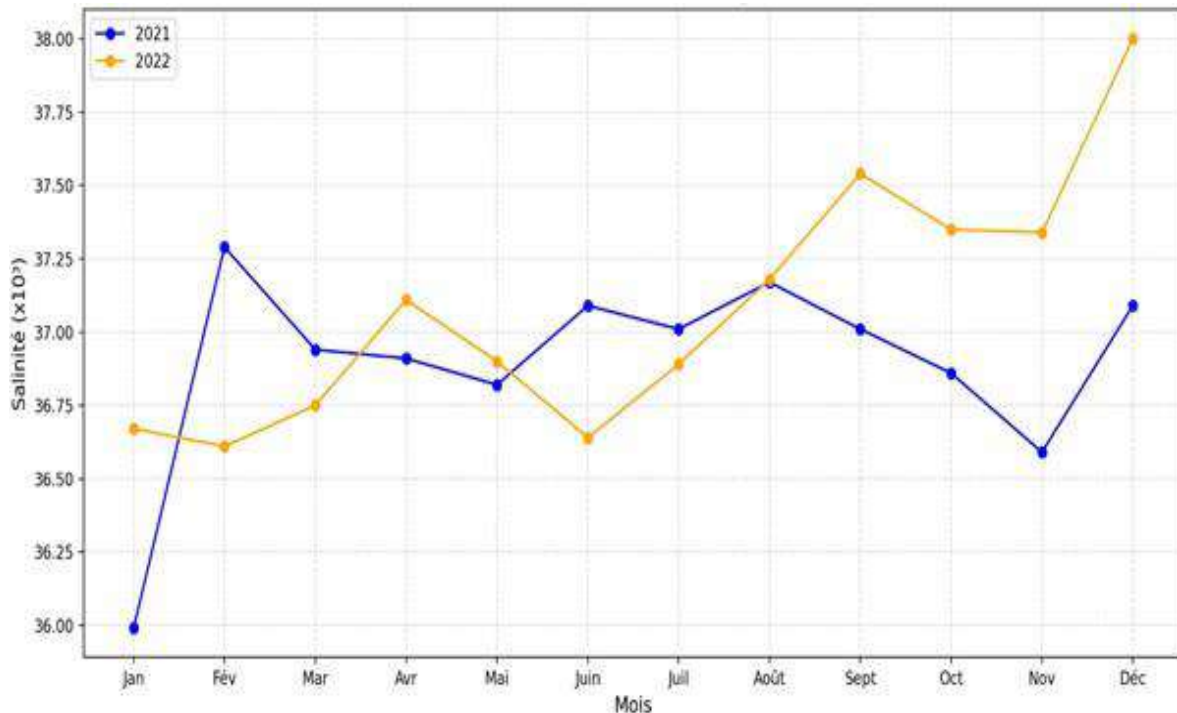


Figure 24: Evolution mensuelle de la salinité des eaux superficielles de l'AMPmE (2021-2022)  
 Les données révèlent une tendance générale à l'augmentation de la salinité en 2022, particulièrement à partir de septembre. Cette évolution pourrait être liée à une diminution des précipitations, une intensification de l'évaporation, ou un recul des apports fluviaux. Ces changements, s'ils se confirment dans le temps, pourraient avoir des implications écologiques importantes, notamment sur la composition biologique des écosystèmes côtiers et la répartition des espèces sensibles à la salinité.

### 3.1.3. pH

Le pH des eaux superficielles est un indicateur essentiel de la qualité de l'eau, influencé par des facteurs naturels comme l'activité biologique ou encore les apports d'eau douce et anthropiques. Les variations mensuelles du pH en 2022, montrent des fluctuations saisonnières significatives (Tab. 7; Fig. 25). Ces données permettent d'analyser les dynamiques environnementales et leurs impacts sur les écosystèmes aquatiques, tout en soulignant l'importance du pH comme outil de surveillance de la santé des milieux aquatiques.

Tableau7: Variations mensuelles des pH des eaux superficielles en 2021et 2022

| Année     | Saison    | 2021 | 2022 |
|-----------|-----------|------|------|
| Décembre  | Hiver     | 7,75 | 7,80 |
| Janvier   |           | 8,10 | 8,18 |
| Février   |           | 7,95 | 8,05 |
| Mars      | Printemps | 7,85 | 7,96 |
| Avril     |           | 7,60 | 7,67 |
| Mai       |           | 8,00 | 8,14 |
| Juin      | Eté       | 8,65 | 8,75 |
| Juillet   |           | 8,20 | 8,24 |
| Aout      |           | 8,22 | 8,28 |
| Septembre | Automne   | 7,95 | 8,00 |
| Octobre   |           | 7,98 | 8,02 |
| Novembre  |           | 7,90 | 7,98 |

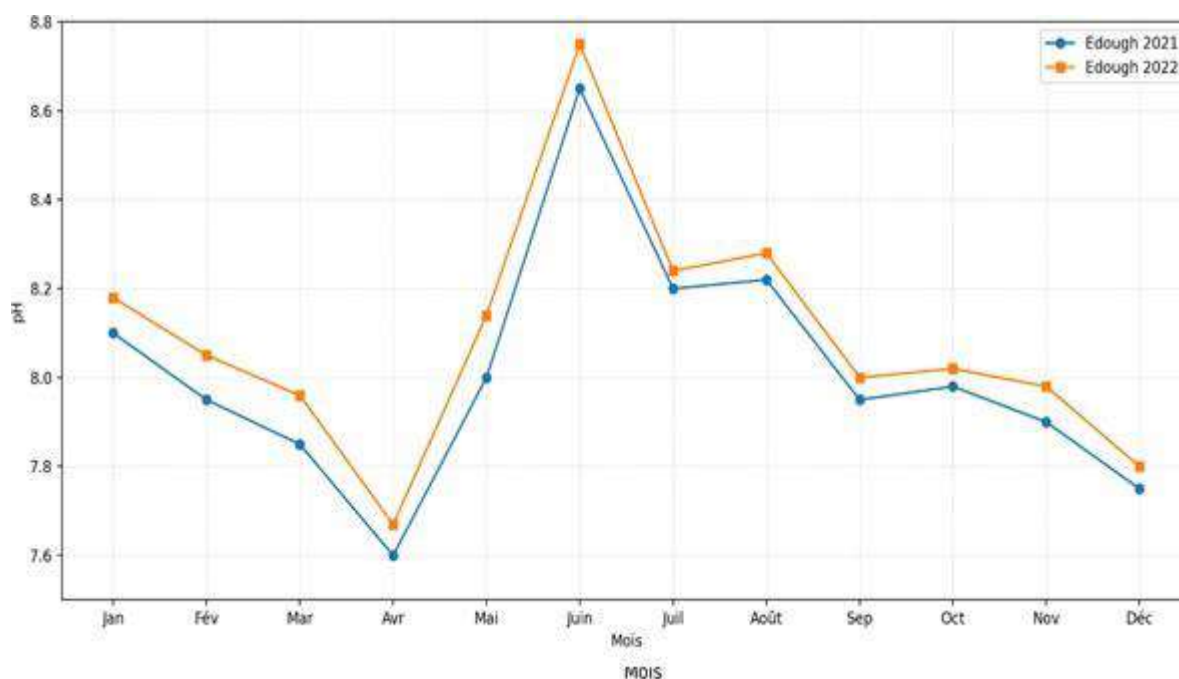


Figure 25: Evolution mensuelle du pH à l'AMPmE en 2021-2022.

L'évolution saisonnière du pH en 2021 et 2022 montre que:

- En hiver: en 2021, le pH des eaux superficielles oscille entre 7,85 et 8,10. Une légère hausse est enregistrée en janvier (8,10), suivie d'une diminution progressive jusqu'à mars (7,85). En 2022, les valeurs sont globalement plus élevées, allant de 7,96 à 8,18 (Fig. 25), ce qui pourrait refléter des conditions environnementales plus stables ou une activité biologique accrue par rapport à l'année précédente.
- Au printemps: durant cette période, un creux est observé en avril, où le pH atteint son minimum annuel: 7,60 en 2021 et 7,67 en 2022. Par la suite, une remontée est enregistrée en

mai, avec des valeurs atteignant 8,00 en 2021 et 8,14 en 2022 (Fig. 25), suggérant une reprise de l'activité photosynthétique.

- En été: l'été est marqué par les valeurs les plus élevées de pH dans les deux années. En 2021, un pic est atteint en juin (8,65), suivi d'une légère baisse en juillet (8,20) et août (8,22). En 2022, cette tendance se confirme avec des niveaux encore plus élevés : un maximum de 8,75 en juin, puis 8,24 en juillet et 8,28 en août (Fig. 25).

-L'automne: en 2021, une diminution progressive du pH est observée, passant de 7,95 en septembre à 7,75 en décembre. En 2022, la baisse est plus modérée, avec des valeurs variant entre 8,00 en septembre et 7,80 en décembre (Fig. 25), indiquant une stabilité légèrement supérieure en fin d'année.

### 3.1.3. L'oxygène dissous

L'oxygène dissous est un paramètre crucial pour la santé des écosystèmes aquatiques, influençant la survie des organismes aquatiques et les processus biochimiques. Sa concentration varie en fonction de facteurs tels que la température, l'activité biologique (photosynthèse et respiration) et les apports d'eau douce. Le tableau 8 (Fig. 26) montre les concentrations mensuelles d'O<sub>2</sub> dissous les années 2021 et 2022.

Tableau 8: Variations mensuelles de la concentration en O<sub>2</sub> dissous en mg/l dans les eaux superficielles en 2021 et 2022

|           |           | Année |      |
|-----------|-----------|-------|------|
| Mois      | Saison    | 2021  | 2022 |
| Décembre  | Hiver     | 6,3   | 6,42 |
| Janvier   |           | 9,3   | 9,49 |
| Février   |           | 8,0   | 8,15 |
| Mars      | Printemps | 8,2   | 8,32 |
| Avril     |           | 6,0   | 6,11 |
| Mai       |           | 5,7   | 5,87 |
| Juin      | Été       | 7,6   | 7,80 |
| Juillet   |           | 6,4   | 6,60 |
| Aout      |           | 5,8   | 5,94 |
| Septembre | Automne   | 6,3   | 6,48 |
| Octobre   |           | 5,8   | 5,98 |
| Novembre  |           | 5,5   | 5,60 |

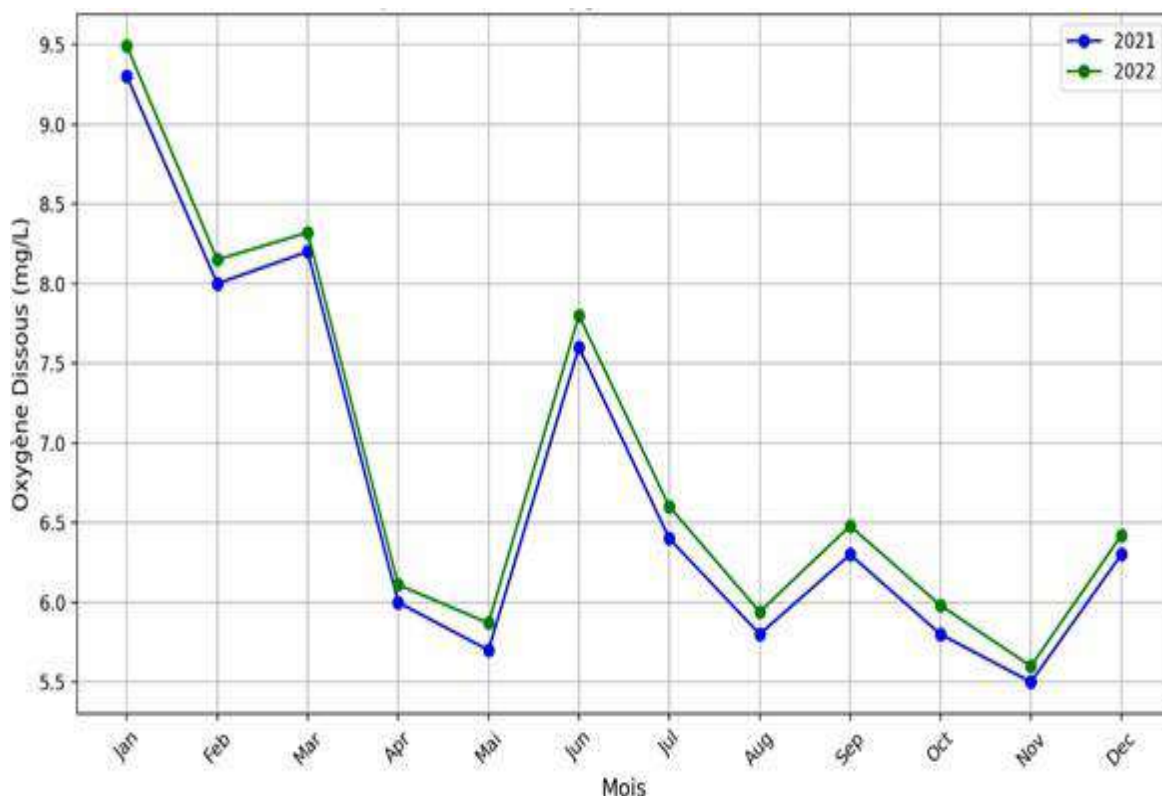


Figure 26: Comparaison mensuelle d'O<sub>2</sub> dissous dans l'AMPmE pour les années 2021 et 2022

Les variations saisonnières de l'oxygène dissous en 2021 et 2022 montrent qu'en hiver 2021, les concentrations d'O<sub>2</sub> dissous varient de 8,00 à 9,30 mg/l, avec un maximum enregistré en janvier (9,30 mg/l), suivi d'une légère baisse en mars (8,20 mg/l). En 2022, les valeurs sont légèrement plus élevées, allant de 8,15 à 9,49 mg/l (Fig. 264), ce qui pourrait traduire des conditions environnementales plus favorables, comme des températures plus basses ou une activité biologique réduite (Tab. 8).

Au printemps on observe une baisse progressive des concentrations en O<sub>2</sub> dissous. En 2021, un maximum est atteint en avril (6,00 mg/l), suivi d'un recul en mai (5,70 mg/l). En 2022, la tendance est similaire: les valeurs passent de 6,11 mg/l en avril à 5,87 mg/l en mai (Fig. 26). L'été est marqué par un pic en juin, suivi d'une baisse. En 2021, l'O<sub>2</sub> dissous atteint 7,60 mg/l en juin, puis diminue à 6,40 mg/l en juillet et 5,80 mg/l en août. En 2022, les concentrations sont légèrement plus élevées, avec un maximum de 7,80 mg/l en juin, suivi de 6,60 mg/l en juillet et 5,94 mg/l en août (Fig. 26). A l'automne 2021, les concentrations diminuent progressivement, passant de 6,30 mg/l en septembre à 5,50 mg/l en novembre, avant de remonter légèrement en décembre à 6,30 mg/l. En 2022, la diminution est moins marquée, avec des valeurs allant de 6,48 mg/l en septembre à 5,60 mg/l en novembre, suivies d'une hausse en décembre à 6,42 mg/l (Tab. 8; Fig. 26).

### 3.1.4. Les matières en suspension

Les matières en suspension (MES) reflètent la présence de particules solides en suspension telles que les sédiments, les argiles, les matières organiques et les polluants adsorbés. Leur concentration influence la turbidité, la pénétration de la lumière et les écosystèmes aquatiques. Les concentrations mensuelles de MES dans les eaux superficielles de la zone d'étude pour l'année 2022. Les valeurs, variant entre 0,128 mg/l en juin et 0,257 mg/l en décembre (Tab. 9; Fig. 27), révèlent des fluctuations saisonnières significatives, liées aux processus hydrologiques, climatiques et anthropiques. Cette analyse vise à comprendre les tendances saisonnières et à évaluer les implications écologiques de ces variations.

Tableau 9: Variations mensuelles des concentrations des MES en 2021 et 2022

|           |           | Année |       |
|-----------|-----------|-------|-------|
| Mois      | Saison    | 2021  | 2022  |
| Décembre  | Hiver     | 0,255 | 0,257 |
| Janvier   |           | 0,210 | 0,214 |
| Février   |           | 0,215 | 0,220 |
| Mars      | Printemps | 0,240 | 0,243 |
| Avril     |           | 0,200 | 0,205 |
| Mai       |           | 0,175 | 0,180 |
| Juin      | Eté       | 0,125 | 0,128 |
| Juillet   |           | 0,175 | 0,180 |
| Aout      |           | 0,225 | 0,229 |
| Septembre | Automne   | 0,250 | 0,255 |
| Octobre   |           | 0,200 | 0,202 |
| Novembre  |           | 0,225 | 0,227 |

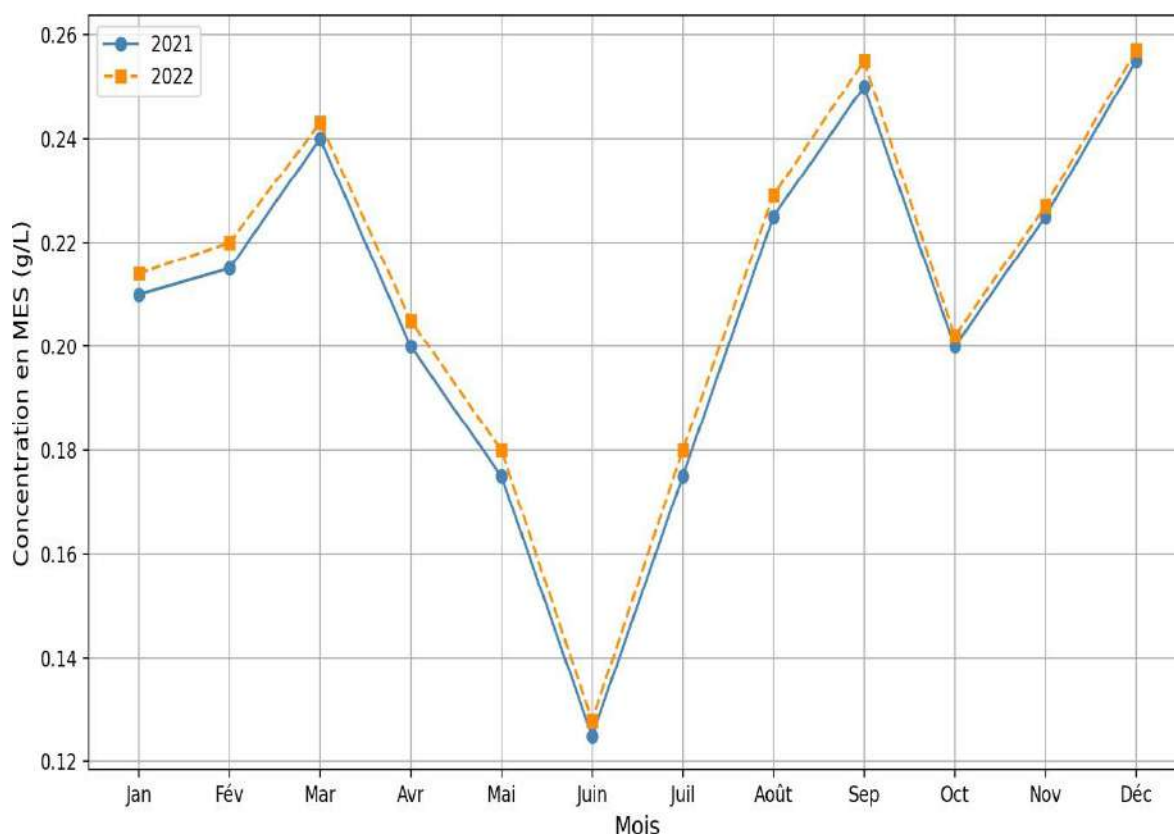


Figure 27: Evolutions mensuelles des concentrations des MES dans les eaux superficielles de l'AMPmE en 2021 et 2022

- En hiver, les concentrations varient entre 0,214 mg/l en janvier et 0,243 mg/l en mars (Fig. 27). Cette période est marquée par des niveaux relativement stables et élevés, similaires à ceux observés pour la salinité et le pH, qui présentent aussi une relative stabilité durant l'hiver.
- Au printemps, une baisse progressive des MES est enregistrée, atteignant un minimum en juin (0,128 mg/l), en cohérence avec la diminution temporaire des températures et une stabilité hydrodynamique accrue durant cette période.
- En été, les concentrations repartent à la hausse, passant de 0,180 mg/l en juillet à 0,229 mg/l en août, avec une valeur de 0,255 mg/l en septembre (Fig. 27), soit l'un des niveaux les plus élevés de l'année. Cette évolution suit une dynamique similaire à celle observée pour la température, qui atteint également ses maximums estivaux.
- En automne, les valeurs restent globalement élevées, oscillant entre 0,202 mg/l en octobre et 0,257 mg/l en décembre (Fig. 27), prolongeant la tendance observée en fin d'été et rejoignant la légère remontée de la salinité observée en novembre-décembre.

L'analyse des tendances montre qu'en comparant entre 2021 et 2022, on remarque que chaque valeur de 2022 est légèrement supérieure à celle de 2021 pour le même mois. Cela suggère une légère augmentation annuelle de l'indicateur probablement un rejet de matière dans les eaux de l'AMP. Ces variations mensuelles régulières (Tab. 9) sont probablement liées à des facteurs saisonniers. En effet, les mois de mars, septembre et décembre affichent les valeurs les plus élevées, ce qui pourrait indiquer des périodes de forte activité ou de production accrue (ex : déchets, consommation, etc.). A l'inverse, juin est le mois avec la valeur la plus basse, suivi de mai, ce qui peut correspondre à une baisse d'activité saisonnière (vacances, chaleur, etc.) (Tab. 9).

### 3.2. Géolocalisation et caractérisation des fonds marins

#### 3.2.1. Localisation et caractérisation du type des fonds marin dans le secteur 1

##### 3.2.1.1. La Zone 1

L'analyse des fonds marins dans la zone 1 (Z1) représentant la zone d'intérêt de l'AMP, du secteur 1 a permis de caractériser la répartition des habitats benthiques (Tab. 10 et Fig. 28) sur une étendue de 2,55 km, depuis le Cap de Garde à l'est jusqu'à Ain Ben Soltan à l'ouest. Cette zone a été explorée à travers 16 stations espacées en moyenne de 180 m. Cependant, la **visibilité** restreint nos observations à une profondeur maximale de -18 m, empêchant l'acquisition de données pour la station 4, où l'eau était trop turbide pour une identification fiable du substrat.

Les relevés effectués montrent une **présence majoritaire des herbiers de *P. oceanica*** dans 10 stations (St. 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 et 16), avec une distribution entre -8 m et -16 m de profondeur. Cette répartition confirme l'adaptabilité de *P. oceanica* aux conditions bathymétriques de la zone et souligne l'importance de ces habitats dans le fonctionnement de l'écosystème côtier.

En revanche, trois stations (St. 2, 14 et 15) situées entre -4 et -14 m se caractérisent exclusivement par un **substrat rocheux**, sans présence d'herbiers. Cette absence pourrait être expliquée par des facteurs environnementaux tels qu'une rugosité du substrat défavorable à l'enracinement des rhizomes, des conditions hydrodynamiques plus fortes, ou encore une exposition à des perturbations anthropiques (ancrage, dragage, pollution). De plus, la présence de **touffes isolées de *P. oceanica*** dans 2 stations (St. 12 et 13) pourrait témoigner d'une dynamique de fragmentation de l'habitat ou d'une recolonisation progressive de la zone.

Tableau 10: Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z1 du secteur 1 de l'AMP des monts Edough

| St. | GPS                     | Nature du fond    | St. | GPS                     | Nature du fond |
|-----|-------------------------|-------------------|-----|-------------------------|----------------|
| 1   | 36°58.109' / 07°46.756' | Herbier           | 09  | 36°57.669' / 07°45.896' | Herbier        |
| 2   | 36°58.038' / 07°46.640' | Roche             | 10  | 36°57.638' / 07°45.795' | Herbier        |
| 3   | 36°58.008' / 07°46.539' | Herbier           | 11  | 36°57.596' / 07°45.690' | Herbier        |
| 4   | 36°57.988' / 07°46.498' | Aucune visibilité | 12  | 36°57.580' / 07°45.588' | Touffe         |
| 5   | 36°57.818' / 07°46.333' | Herbier           | 13  | 36°57.564' / 07°45.510' | touffe         |
| 6   | 36°57.809' / 07°46.333' | Herbier           | 14  | 36°57.550' / 07°45.495' | Roche          |
| 7   | 36°57.750' / 07°46.171' | Herbier           | 15  | 36°57.517' / 07°45.425' | Roche          |
| 8   | 36°57.701' / 07°46.042' | Herbier           | 16  | 36°57.454' / 07°45.432' | Herbier        |

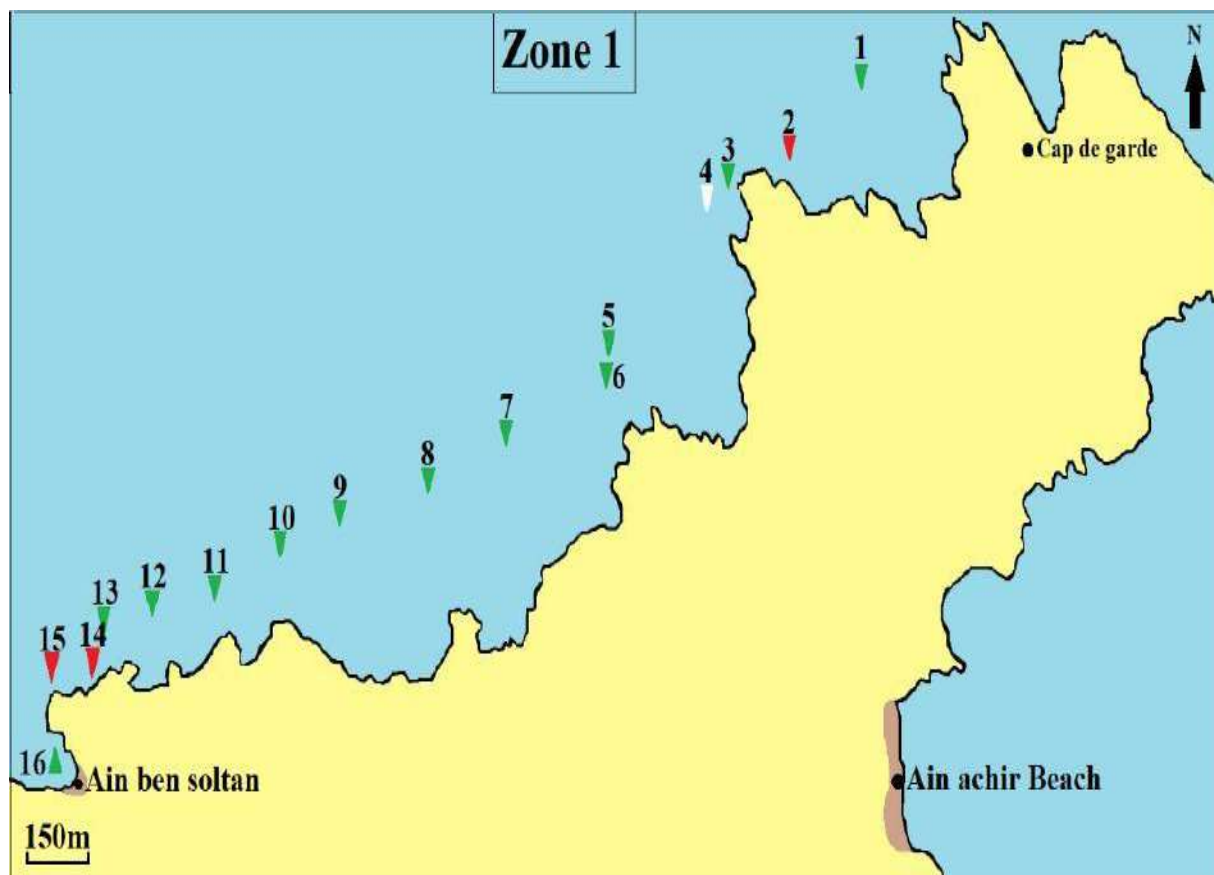


Figure 28: Localisation et caractérisation des types de fonds marins de *P. oceanica* dans la zone Z1 du secteur 1 (Triangle vert: *P. oceanica*; triangle rouge: substrat rocheux; triangle jaune: substrat meuble; triangle blanc: aucune visibilité).

### 3.2.1.2. La Zone 2

La zone 2 (Z2), zone d'intérêt de l'AMP, située entre Ain Ben Soltan à l'Est et Oued Bouqrat à l'Ouest, couvre une distance de 4,62 km. Cette zone est représentée par 27 stations (Tab.11; Fig. 29), espacées d'environ 176 m et situées entre -6 et -20 m de profondeur.

Les substrats rocheux constituent la majorité des relevés, soit 66,6% stations, indiquant une zone potentiellement plus exposée à l'hydrodynamisme et aux courants marins. Ces conditions peuvent limiter l'expansion des herbiers de *P. oceanica* en raison de l'instabilité du substrat pour l'ancrage des rhizomes. Cependant, la présence de deux stations avec des herbiers (Sts. 18 et 19) suggère des conditions localement favorables à leur développement, telles qu'une stabilité accrue du substrat ou une profondeur idéale pour l'équilibre entre la luminosité et la sédimentation.

La présence de substrats meubles, bien que minoritaire, peut indiquer des apports sédimentaires issus de l'hydrodynamisme côtier ou du dépôt de particules provenant des oueds avoisinants. Ces zones sont essentielles à la diversité des habitats marins, car elles constituent un environnement propice à d'autres espèces benthiques adaptées aux conditions sédimentaires.

D'autres facteurs environnementaux pourraient également influencer la distribution des herbiers dans la Z2, notamment la turbidité de l'eau et l'influence des apports terrigènes en provenance d'Oued Bouqrat. L'absence de visibilité à certaines stations suggère également la présence de particules en suspension qui pourraient limiter la photosynthèse des herbiers et affecter leur expansion.

Tableau 11: Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z2 du secteur 1 de l'AMP des monts Edough

| St. | GPS                     | Nature du fond | St. | GPS                     | Nature du fond    |
|-----|-------------------------|----------------|-----|-------------------------|-------------------|
| 17  | 36°57.479' / 07°45.328' | Sable          | 31  | 36°57.429' / 07°44.080' | Roche             |
| 18  | 36°57.514' / 07°45.239' | touffe         | 32  | 36°57.416' / 07°44.016' | Roche             |
| 19  | 36°57.539' / 07°45.129' | Touffe         | 33  | 36°57.361' / 07°43.900' | Roche             |
| 20  | 36°57.538' / 07°45.995' | Roche          | 34  | 36°57.404' / 07°43.870' | Aucune visibilité |
| 21  | 36°57.520' / 07°44.884' | Roche          | 35  | 36°57.400' / 07°43.714' | Roche             |
| 22  | 36°57.508' / 07°44.745' | Roche          | 36  | 36°57.368' / 07°43.583' | Roche             |
| 23  | 36°57.488' / 07°44.654' | Roche          | 37  | 36°57.412' / 07°43.475' | Aucune visibilité |
| 24  | 36°57.492' / 07°44.579' | Roche          | 38  | 36°57.412' / 07°43.366' | Roche             |
| 25  | 36°57.538' / 07°44.492' | Roche          | 39  | 36°57.300' / 07°43.083' | Roche             |
| 26  | 36°57.532' / 07°44.352' | Roche          | 40  | 36°57.233' / 07°42.912' | Sable             |
| 27  | 36°57.521' / 07°44.274' | Roche          | 41  | 36°57.146' / 07°42.735' | Sable             |
| 28  | 36°57.510' / 07°44.301' | Roche          | 42  | 36°57.105' / 07°42.620' | Sable             |
| 29  | 36°57.491' / 07°44.253' | Roche          | 43  | 36°57.065' / 07°42.536' | Sable             |
| 30  | 36°57.448' / 07°44.155' | Roche          |     |                         |                   |

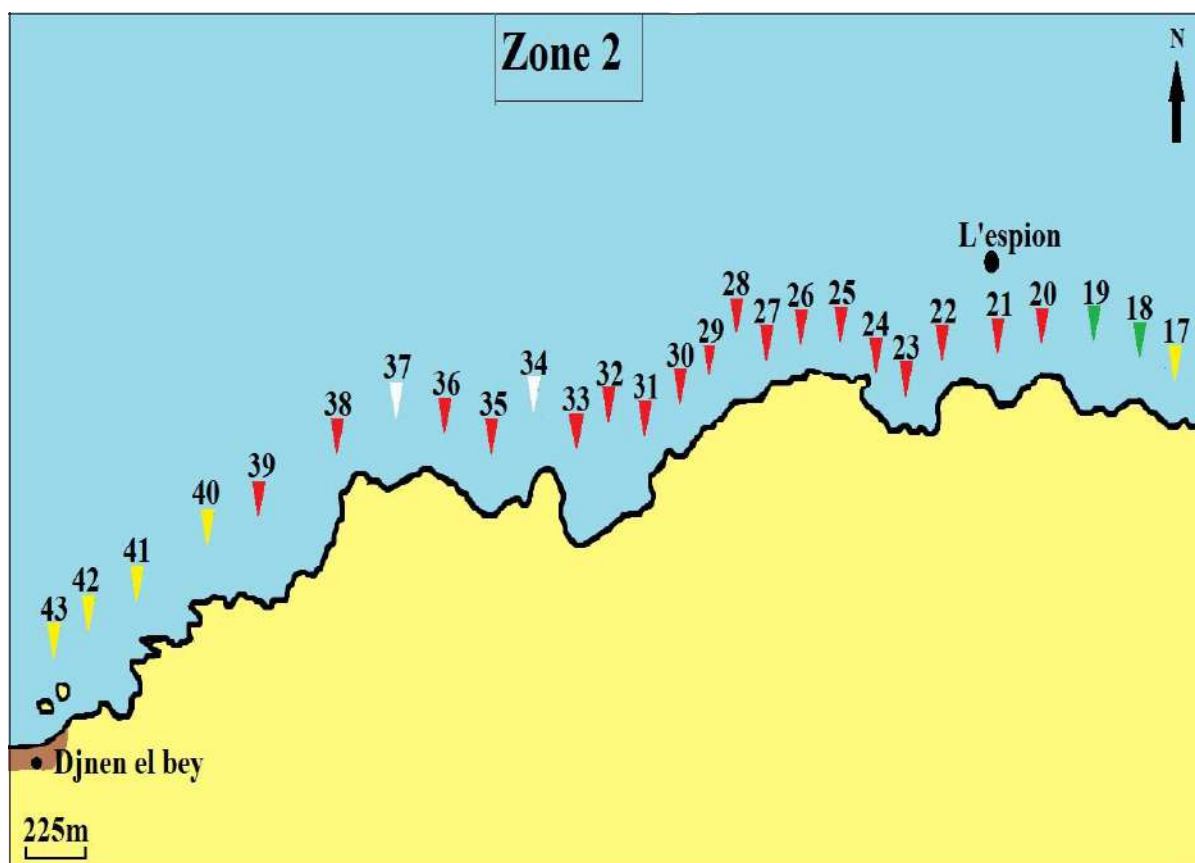


Figure 29: Localisation et caractérisation des types de fonds marins de *P. oceanica* dans la zone Z2 du secteur 1. (Triangle vert: *P. oceanica*; triangle rouge: substrat rocheux; triangle jaune: substrat meuble; triangle blanc: aucune visibilité).

### 3.2.1.3. La Zone 3

La zone 3 (Z3) classée comme zone de transition de l'AMP, s'étendant de Oued Bouqrat à l'est à Pain de Sucre à l'ouest sur 7 km, a été explorée à travers 38 stations (Tab.12 et Fig. 28) séparées en moyenne de 193m chacune, avec des profondeurs variant entre -3 et -24. Cette zone se distingue par une forte hétérogénéité des fonds marins (Fig. 30).

L'analyse des données recueillies montre que 26,3 % des stations sont caractérisées par un fond sableux, principalement localisées en début et en fin de zone. Ces substrats meubles sont souvent associés à des dynamiques hydrodynamiques plus intenses, limitant l'installation de formations végétales stables telles que les herbiers de *P. oceanica*.

Les herbiers de *P. oceanica* sont observés dans sept stations, soit 15,8 % de points vérité. Les fonds rocheux représentent 28,9 % des stations, répartis de manière dispersée le long de la zone. Ce type de substrat est souvent associé à une biodiversité benthique plus diversifiée, servant d'habitat à différentes espèces marines sessiles et mobiles. Enfin, les observations ont été fortement entravées par des conditions de faible visibilité dans 13 stations, soit 34,2 % du total. Ces difficultés, sont dues à la turbidité des eaux et aux conditions météorologiques, qui ont limité la précision des observations pour ces points.

Tableau 12: Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z3 du secteur 1 de l'AMP des monts Edough

| St. | GPS                     | Nature du fond    | St. | GPS                     | Nature du fond    |
|-----|-------------------------|-------------------|-----|-------------------------|-------------------|
| 44  | 36°57.166' / 07°42.156' | Meuble            | 63  | 36°58.133' / 07°41.018' | Aucune visibilité |
| 45  | 36°57.222' / 07°42.173' | Meuble            | 64  | 36°58.187' / 07°40.987' | Aucune visibilité |
| 46  | 36°57.291' / 07°42.135' | Meuble            | 65  | 36°58.210' / 07°40.960' | Aucune visibilité |
| 47  | 36°57.360' / 07°42.124' | Meuble            | 66  | 36°58.212' / 07°40.885' | Meuble            |
| 48  | 36°57.396' / 07°42.146' | Herbier           | 67  | 36°58.260' / 07°40.911' | Aucune visibilité |
| 49  | 36°57.449' / 07°42.155' | Herbier           | 68  | 36°58.320' / 07°40.922' | Herbier           |
| 50  | 36°57.511' / 07°42.164' | Herbier           | 69  | 36°58.346' / 07°40.929' | Aucune visibilité |
| 51  | 36°57.555' / 07°42.188' | Herbier           | 70  | 36°58.405' / 07°40.951' | Aucune visibilité |
| 52  | 36°57.613' / 07°42.247' | Aucune visibilité | 71  | 36°58.371' / 07°40.683' | Roche             |
| 53  | 36°57.672' / 07°42.254' | Aucune visibilité | 72  | 36°58.595' / 07°40.320' | Aucune visibilité |
| 54  | 36°57.750' / 07°42.018' | Touffe            | 73  | 36°58.503' / 07°40.214' | Roche             |
| 55  | 36°57.713' / 07°41.834' | Aucune visibilité | 74  | 36°58.077' / 07°40.414' | Aucune visibilité |
| 56  | 36°57.704' / 07°41.702' | Roche             | 75  | 36°58.061' / 07°40.358' | Roche             |
| 57  | 36°57.770' / 07°41.436' | Aucune visibilité | 76  | 36°58.022' / 07°40.224' | Roche             |
| 58  | 36°57.674' / 07°41.543' | Aucune visibilité | 77  | 36°58.020' / 07°40.186' | Roche             |
| 59  | 36°57.844' / 07°41.344' | Roche             | 78  | 36°57.984' / 07°39.903' | Aucune visibilité |
| 60  | 36°58.031' / 07°41.069' | Roche             | 79  | 36°58.071' / 07°39.735' | Aucune visibilité |
| 61  | 36°58.031' / 07°41.069' | Aucune visibilité | 80  | 36°58.103' / 07°39.726' | Roche             |
| 62  | 36°58.097' / 07°41.047' | Aucune visibilité | 81  | 36°58.105' / 07°39.726' | Meuble            |

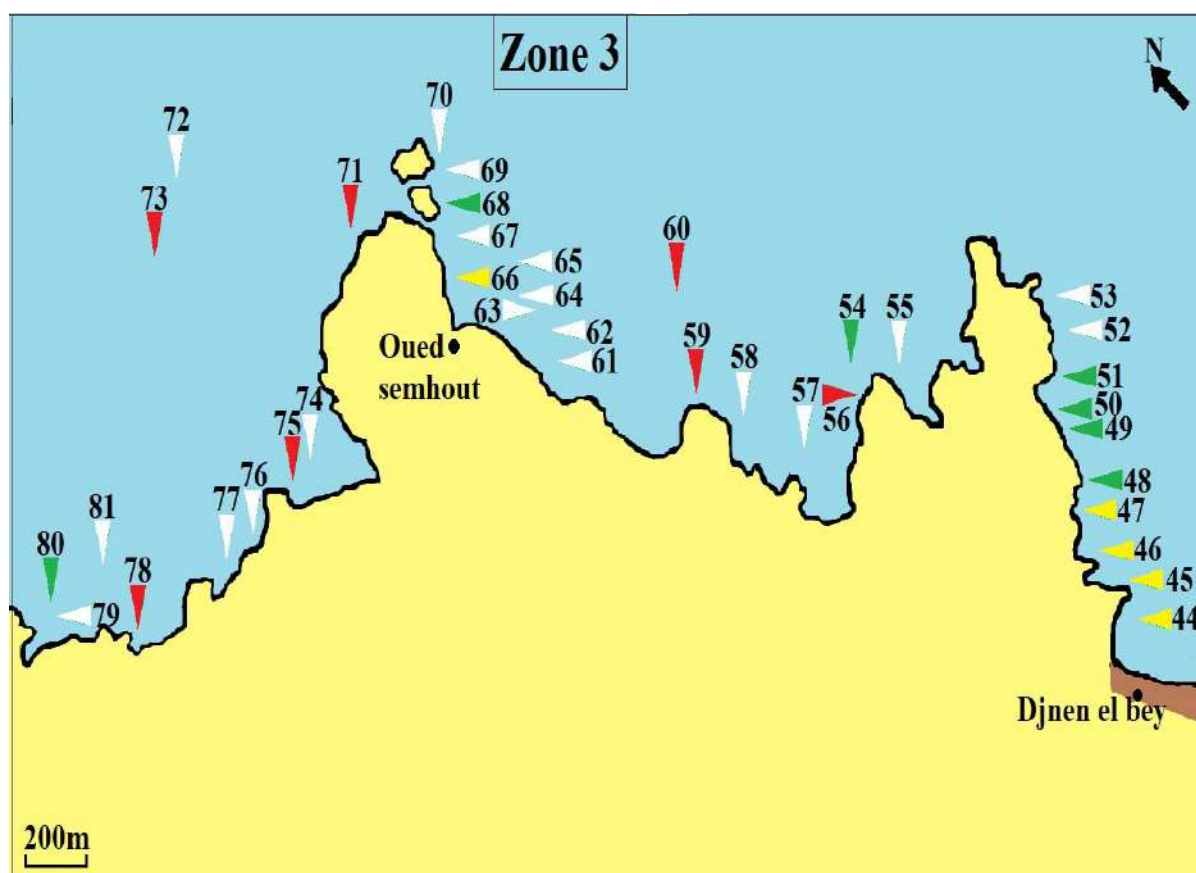


Figure 30: Localisation et caractérisation des types de fonds marins de *P. oceanica* dans la zone Z3 du secteur 1. (Triangle vert: *P. oceanica*; triangle rouge: substrat rocheux; triangle jaune: substrat meuble; triangle blanc: aucune visibilité).

#### 3.2.1.4. La Zone 4

La zone 4 (Z4) située dans la zone tampon de l'AMP, s'étend du Pain de Sucre à l'Est à Oued el Gueb à l'Ouest (Tab. 13, Fig. 31) sur une longueur de 7,3 km, représentée par 71 stations espacées de 88 m chacune avec des profondeurs allant de -1 à -24m.

L'analyse des données de géolocalisation et des observations de terrain permet d'identifier une prédominance des substrats meubles et rocheux, ponctués par des herbiers de *P. oceanica* sous différentes formes: herbiers denses, touffes dispersées et litières de posidonie.

Les fonds meubles, principalement situés dans les stations 91, 98, 104, 109, 111, 113 et 118, témoignent d'une dynamique sédimentaire active, avec une probable exposition aux courants hydrodynamiques.

Les substrats rocheux sont largement distribués dans la zone, notamment aux stations 87, 93, 99, 100, 101, 102, 103, 105, 107, 112 et 115. Cette présence de formations rocheuses favorise l'installation de *P. oceanica* sous forme de touffes ou d'herbiers fragmentés, souvent observés en périphérie des zones rocheuses. L'alternance entre substrats durs et meubles reflète une mosaïque benthique propice à une biodiversité élevée et une variabilité des habitats marins. L'herbier de *P. oceanica* est présent sous 3 formes principales:

- **Herbiers denses:** observés aux stations 106, 137, 139 et 150, où la couverture végétale est significative, indiquant des conditions favorables à la croissance et à la stabilité des herbiers.
- **Touffes de posidonie sur roche:** identifiées aux stations 92, 108, 117, 120, 122, 123, 127, 140, 141, 142, 145 et 146, montrant une implantation de la posidonie sur des substrats consolidés mais potentiellement soumis à des contraintes environnementales (hydrodynamisme, sédimentation partielle, anthropisation).
- **Litières de posidonie:** relevées aux stations 86, 88, 89 et 125, suggérant une dégradation naturelle des herbiers ou un stress environnemental pouvant affecter la pérennité de ces habitats sensibles.

Tableau 13: Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z4 du secteur 1 de l'AMP des monts Edough

| N°  | GPS                    | Nature du fond    | N°  | GPS                    | Nature du fond |
|-----|------------------------|-------------------|-----|------------------------|----------------|
| 82  | 36°58.071'/ 07°39.735' | Aucune visibilité | 120 | 36°58.148'/ 07°39.003' | Touffe         |
| 83  | 36°58.103'/ 07°39.726' | Herbier           | 121 | 36°58.155'/ 07°38.976' | Meuble         |
| 84  | 36°58.105'/ 07°39.726' | Aucune visibilité | 122 | 36°58.124'/ 07°38.969' | Touffe         |
| 85  | 36°58.196'/ 07°39.577' | Herbier           | 123 | 36°58.098'/ 07°38.932' | Touffe         |
| 86  | 36°58.206'/ 07°39.646' | Litière           | 124 | 36°58.098'/ 07°38.897' | Roche          |
| 87  | 36°58.224'/ 07°39.578' | Roche             | 125 | 36°58.096'/ 07°38.717' | Litière        |
| 88  | 36°58.255'/ 07°39.634' | Litière           | 126 | 36°58.028'/ 07°38.660' | Meuble         |
| 89  | 36°58.290'/ 07°39.632' | Litière           | 127 | 36°57.974'/ 07°38.667' | Touffe         |
| 90  | 36°58.364'/ 07°39.679' | Herbier           | 128 | 36°58.013'/ 07°38.552' | Meuble         |
| 91  | 36°58.404'/ 07°39.698' | Meuble            | 129 | 36°57.995'/ 07°38.478' | Meuble         |
| 92  | 36°58.430'/ 07°39.629' | Touffe sur roche  | 130 | 36°57.981'/ 07°38.413' | Meuble         |
| 93  | 36°58.475'/ 07°39.580' | Roche             | 131 | 36°58.008'/ 07°38.345' | Meuble         |
| 94  | 36°58.552'/ 07°39.592' | Herbier           | 132 | 36°57.825'/ 07°38.253' | Meuble         |
| 95  | 36°58.639'/ 07°39.571' | Roche             | 133 | 36°57.900'/ 07°38.231' | Meuble         |
| 96  | 36°58.674'/ 07°39.614' | Herbier           | 134 | 36°57.860'/ 07°37.108' | Meuble         |
| 97  | 36°58.686'/ 07°39.608' | Meuble            | 135 | 36°57.845'/ 07°37.075' | Touffe         |
| 98  | 36°58.723'/ 07°39.582' | Meuble            | 136 | 36°57.833'/ 07°37.044' | Meuble         |
| 99  | 36°58.729'/ 07°39.395' | Roche             | 137 | 36°57.930'/ 07°37.985' | Herbier        |
| 100 | 36°58.730'/ 07°39.340' | Roche             | 138 | 36°57.903'/ 07°37.916' | Roche          |
| 101 | 36°58.684'/ 07°39.411' | Roche             | 139 | 36°57.834'/ 07°37.844' | Herbier        |
| 102 | 36°58.696'/ 07°39.306' | Roche             | 140 | 36°57.954'/ 07°37.866' | Touffe         |
| 103 | 36°58.673'/ 07°39.309' | Roche             | 141 | 36°57.982'/ 07°37.825' | Touffe         |
| 104 | 36°58.609'/ 07°39.310' | Meuble            | 142 | 36°57.963'/ 07°37.748' | Touffe         |
| 105 | 36°58.608'/ 07°39.367' | Roche             | 143 | 36°57.939'/ 07°37.721' | Roche          |
| 106 | 36°58.565'/ 07°39.407' | Herbier dense     | 144 | 36°57.893'/ 07°37.662' | Roche          |
| 107 | 36°58.521'/ 07°39.428' | Roche             | 145 | 36°57.855'/ 07°37.625' | Touffe         |
| 108 | 36°58.523'/ 07°39.390' | Touffe            | 146 | 36°57.842'/ 07°37.534' | Touffe         |
| 109 | 36°58.535'/ 07°39.304' | Meuble            | 147 | 36°57.861'/ 07°37.452' | Herbier        |
| 110 | 36°58.530'/ 07°39.358' | Roche             | 148 | 36°57.851'/ 07°37.366' | Herbier        |
| 111 | 36°58.545'/ 07°39.237' | Meuble            | 149 | 36°57.828'/ 07°37.325' | Herbier        |
| 112 | 36°58.516'/ 07°39.213' | Roche             | 150 | 36°57.814'/ 07°37.291' | Herbier        |
| 113 | 36°58.520'/ 07°39.172' | Meuble            | 151 | 36°57.784'/ 07°37.288' | Herbier        |
| 114 | 36°58.476'/ 07°39.146' | Roche             | 152 | 36°57.742'/ 07°37.286' | Litière        |
| 115 | 36°58.419'/ 07°39.108' | Roche             | 153 | 36°57.974'/ 07°38.667' | Meuble         |
| 116 | 36°58.382'/ 07°39.046' | Meuble            |     |                        |                |
| 117 | 36°58.250'/ 07°39.079' | Touffe            |     |                        |                |
| 118 | 36°58.302'/ 07°39.026' | Meuble            |     |                        |                |
| 119 | 36°58.240'/ 07°38.963' | Meuble            |     |                        |                |

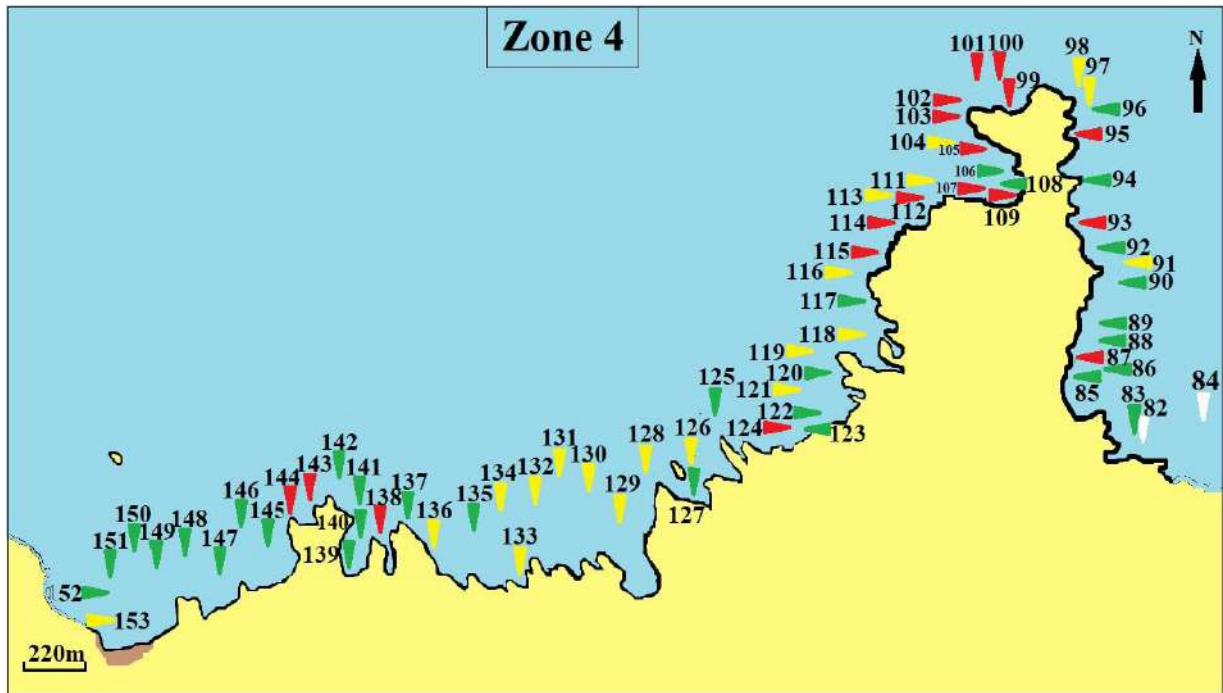


Figure 31: Localisation et caractérisation des types de fonds marins de *P. oceanica* dans la zone Z4 du secteur 1. (Triangle vert: *P. oceanica*; triangle rouge: substrat rocheux; triangle jaune: substrat meuble; triangle blanc: aucune visibilité).

### 3.2.2. Localisation et caractérisation du type des fonds marin dans le secteur 2

#### 3.2.2.1. La Zone 5

La zone tampon 5 (Z5) s'étend sur une distance linéaire de 3,26 km et est représentée par 41 stations distantes de 84 m, avec des profondeurs allant de -3 à -16 m (Tab.14 et Fig. 32). Les formations rocheuses dominent une partie significative de la zone avec 41,46% (stations 158, 160, 169-170, 172-193). Ces substrats offrent un habitat stable favorisant la fixation de la posidonie sous forme de touffes et d'herbiers sur roche. La présence de ces structures solides constitue un élément clé pour la biodiversité benthique et influence la répartition des communautés marines.

Plusieurs points d'échantillonnage (stations 162, 175-178, 179, 128-130, 134, etc.) indiquent la présence de fonds meubles (12,19%).

La posidonie est observée sous différentes formes dans cette zone. Des herbiers denses (stations 155-157, 181, 190, 194) témoignent d'un écosystème bien développé et stable, jouant un rôle crucial dans la production primaire et la séquestration du carbone. De nombreuses stations révèlent également des touffes de posidonie fixées sur des substrats rocheux (stations 154, 159, 161, 163-164, 166, 171, 180, 182-183, 145-146). La présence de litière de posidonie (station 165) indique un apport de matière organique favorisant les processus de recyclage des nutriments.

Tableau 14: Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z5 du secteur 2 de l'AMP des monts Edough

| St. | GPS                     | Nature du fond | St. | GPS                     | Nature du fond    |
|-----|-------------------------|----------------|-----|-------------------------|-------------------|
| 154 | 36°57.764' / 07°37.240' | Touffe         | 174 | 36°58.190' / 07°36.374' | Roche             |
| 155 | 36°57.775' / 07°37.227' | Herbier        | 175 | 36°58.193' / 07°36.326' | Meuble            |
| 156 | 36°57.801' / 07°37.200' | Herbier        | 176 | 36°58.136' / 07°36.248' | Meuble            |
| 157 | 36°57.821' / 07°37.168' | Herbier        | 177 | 36°58.122' / 07°36.208' | Roche             |
| 158 | 36°57.890' / 07°37.124' | Roche          | 178 | 36°58.105' / 07°36.153' | Meuble            |
| 159 | 36°57.901' / 07°37.113' | Touffe         | 179 | 36°58.138' / 07°36.108' | Meuble            |
| 160 | 36°57.925' / 07°37.109' | Roche          | 180 | 36°58.176' / 07°36.038' | Touffe            |
| 161 | 36°57.926' / 07°37.018' | Touffe         | 181 | 36°58.186' / 07°36.004' | Herbier           |
| 162 | 36°57.918' / 07°36.952' | Meuble         | 182 | 36°58.202' / 07°35.964' | Touffe            |
| 163 | 36°57.913' / 07°36.873' | Touffe         | 183 | 36°58.215' / 07°35.955' | Herbier sur roche |
| 164 | 36°57.933' / 07°36.818' | Touffe         | 184 | 36°58.216' / 07°35.944' | Roche             |
| 165 | 36°57.969' / 07°36.744' | Litière        | 185 | 36°58.248' / 07°35.912' | Roche             |
| 166 | 36°58.003' / 07°36.697' | Touffe         | 186 | 36°58.257' / 07°35.890' | Roche             |
| 167 | 36°58.024' / 07°36.667' | Herbier        | 187 | 36°58.273' / 07°35.861' | Roche             |
| 168 | 36°58.045' / 07°36.658' | Herbier        | 188 | 36°58.294' / 07°35.811' | Roche             |
| 169 | 36°58.092' / 07°36.656' | Roche          | 189 | 36°58.324' / 07°35.754' | Roche             |
| 170 | 36°58.123' / 07°36.620' | Roche          | 190 | 36°58.361' / 07°35.696' | Herbier sur roche |
| 171 | 36°58.158' / 07°36.576' | Touffe         | 191 | 36°58.395' / 07°35.657' | Roche             |
| 172 | 36°58.166' / 07°36.538' | Roche          | 192 | 36°58.426' / 07°35.617' | Roche             |
| 173 | 36°58.186' / 07°36.471' | Roche          | 193 | 36°58.478' / 07°35.567' | Roche             |
|     |                         |                | 194 | 36°58.490' / 07°35.534' | Herbier sur roche |

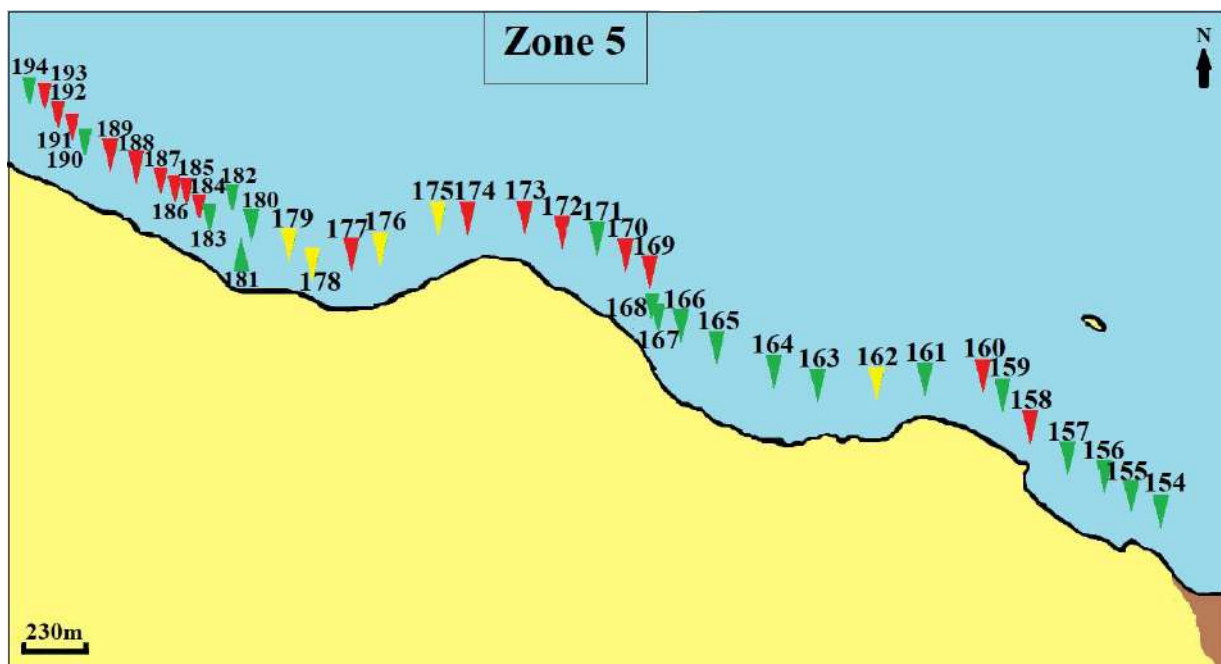


Figure 32: Localisation et caractérisation des types de fonds marins de *P. oceanica* dans la zone Z5 du secteur 2. (Triangle vert : *P. oceanica*; triangle rouge : substrat rocheux; triangle jaune : substrat meuble; triangle blanc : aucune visibilité).

### 3.2.2.2. La Zone 6

La zone 6, classée comme zone tampon, est située entre Oued el Gueb et Ain Barbar sur une distance de 3,55 km, et représentée par 29 stations espacées de 101 m à des profondeurs allant de -4 à -14 m (Tab. 15).

Cette zone présente une diversité de substrats avec une dominance marquée de l'herbier de *P. oceanica* sur roche et de substrats rocheux. Les points de prélèvement indiquent une répartition significative de l'herbier de *P. oceanica* (stations 197, 202-208, 210-214), témoignant d'une couverture végétale importante sur des fonds durs (Fig.33 et Tab. 15). Ce type de substrat est propice au développement de *P. oceanica*, offrant un habitat stable et favorable à la fixation des rhizomes. Un taux de 37,93% de substrats rocheux (stations 198, 200, 201, 209, 215, 219-222) reste bien représenté, caractérisant un environnement où l'hydrodynamisme peut être plus marqué. La présence d'éboulis à la station 199 suggère une zone soumise à des processus d'érosion ou à des perturbations mécaniques naturelles.

17,24% des zones sableuses (stations 195, 196, 216-218), ce qui pourrait indiquer un secteur moins favorable à l'extension de l'herbier, bien que certaines touffes de posidonie puissent être présentes de manière dispersée sur ces substrats meubles.

Globalement, cette zone se distingue par une forte prévalence des habitats rocheux et des herbiers sur substrat dur, ce qui souligne l'importance de ces fonds pour la biodiversité marine locale et la stabilité des écosystèmes côtiers.

Tableau 15: Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z6 du secteur 2 de l'AMP des monts Edough

| St. | GPS                     | Nature du fond    | St. | GPS                     | Nature du fond    |
|-----|-------------------------|-------------------|-----|-------------------------|-------------------|
| 195 | 36°58.504' / 07°35.532' | Meuble            | 209 | 36°58.954' / 07°34.769' | Roche             |
| 196 | 36°58.530' / 07°35.500' | Meuble            | 210 | 36°58.968' / 07°34.702' | Herbier sur roche |
| 197 | 36°58.578' / 07°35.458' | Herbier sur roche | 211 | 36°58.997' / 07°34.641' | Herbier sur roche |
| 198 | 36°58.647' / 07°35.382' | Roche             | 212 | 36°59.044' / 07°34.567' | Herbier sur roche |
| 199 | 36°58.658' / 07°35.292' | Ebolie/roche      | 213 | 36°59.083' / 07°34.508' | Herbier sur roche |
| 200 | 36°58.720' / 07°35.279' | Roche             | 214 | 36°59.105' / 07°34.427' | Herbier sur roche |
| 201 | 36°58.739' / 07°35.231' | Roche             | 215 | 36°59.141' / 07°34.306' | Roche             |
| 202 | 36°58.767' / 07°35.187' | Herbier sur roche | 216 | 36°59.170' / 07°34.237' | Meuble            |
| 203 | 36°58.782' / 07°35.129' | Herbier sur roche | 217 | 36°59.248' / 07°34.137' | Meuble            |
| 204 | 36°58.808' / 07°35.028' | Herbier sur roche | 218 | 36°59.332' / 07°34.039' | Meuble            |
| 205 | 36°58.826' / 07°34.974' | Herbier sur roche | 219 | 36°59.333' / 07°34.038' | Roche             |
| 206 | 36°58.855' / 07°34.905' | Herbier sur roche | 220 | 36°59.452' / 07°33.749' | Roche             |
| 207 | 36°58.885' / 07°34.851' | Herbier sur roche | 221 | 36°59.502' / 07°33.700' | Roche             |
| 208 | 36°58.914' / 07°34.806' | Herbier sur roche | 222 | 36°59.522' / 07°33.662' | Roche             |

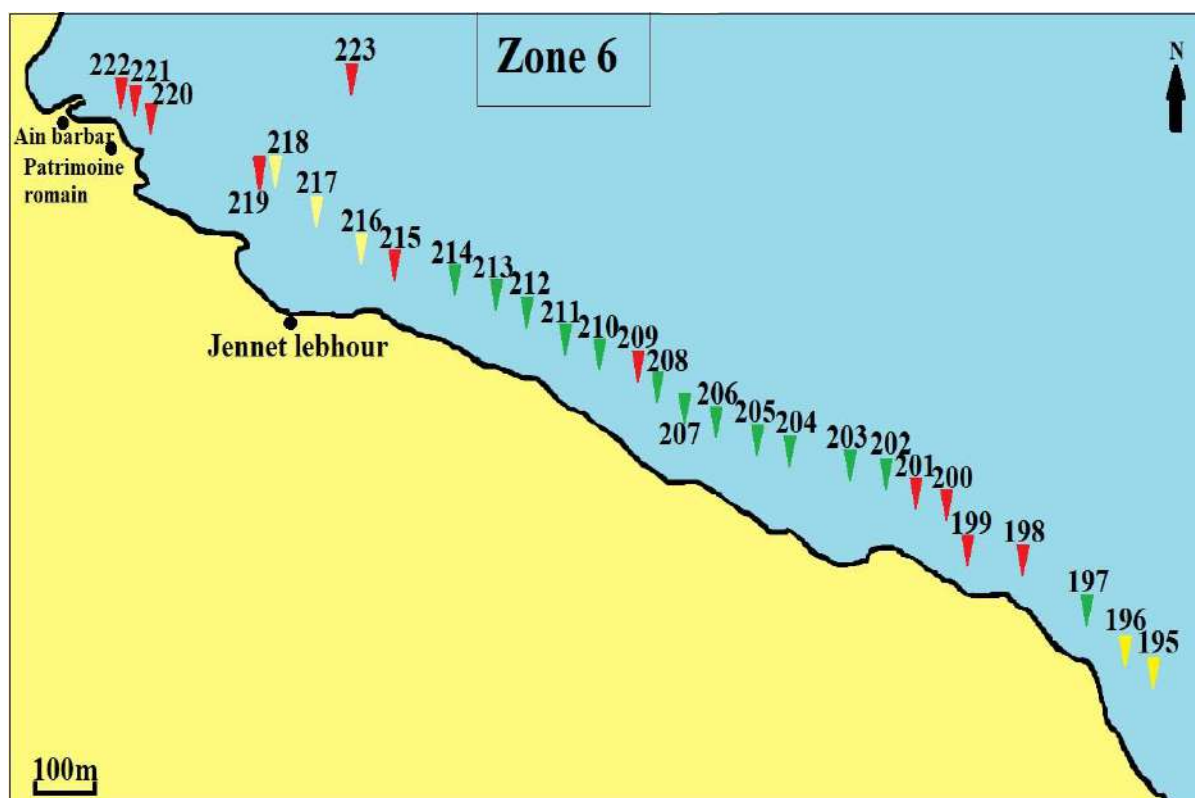


Figure 33: Localisation et caractérisation des types de fonds marins de *P. oceanica* dans la zone Z6 du secteur 2. (Triangle vert: *P. oceanica*; triangle rouge: substrat rocheux; triangle jaune: substrat meuble; triangle blanc: aucune visibilité).

### 3.2.2.3. La Zone 7

La zone 7, identifiée comme zone d'intérêt, est située entre Ain Barbar et Ain Errihane. Elle s'étend sur 4,66 km et comprend 33 stations distantes de 136 m à des profondeurs comprises entre -4 et -11 m.

La Z7 présente une prédominance de roches 34,37% et d'herbiers de *P. oceanica* dans les Sts : 226, 227, 228, 229, 231, 239, 240, 241, 243, 244, 245, 246, 253, 254 et 255 (Tab. 16 et- Fig. 34), bien que certaines stations révèlent la présence de sable 18,75%. Cette répartition hétérogène du fond marin indique une transition progressive entre des secteurs rocheux et des zones plus meubles, susceptibles d'influencer la dynamique écologique locale.

Les 13 stations situées dans la partie est de la zone entre 223 et 236 sont majoritairement caractérisées par un substrat rocheux, ce qui peut constituer un habitat favorable à l'implantation des herbiers de posidonie. Ces substrats durs offrent des points d'ancrage pour la fixation des rhizomes, favorisant ainsi la pérennité de ces écosystèmes.

En revanche, des stations telles que St. 224, 230, 237 et 238 mettent en évidence des zones sablonneuses. Ce type de substrat est généralement moins propice au développement de *P. oceanica*, bien que certaines formations de posidonie sur sable aient été observées, notamment dans la St. 241 (Tab. 15 et Fig. 34).

Une densification des herbiers est observée au niveau de la St. 245 « posidonie dense», ce qui pourrait refléter une zone de conditions optimales pour le développement de la plante marine, notamment en termes de profondeur, de stabilité du substrat et de conditions hydrodynamiques.

Enfin, la partie ouest de la zone (St. 246 à 255) montre une alternance entre roche et herbiers de posidonie, avec une persistance des formations sur roche. Cette distribution est cohérente avec les observations faites dans les zones précédentes, où les herbiers s'établissent préférentiellement sur substrat dur (Tab. 16 et Fig. 34).

Tableau 16: Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z7 du secteur 2 de l'AMP des monts Edough

| St. | GPS                     | Nature du fond      | St. | GPS                     | Nature du fond      |
|-----|-------------------------|---------------------|-----|-------------------------|---------------------|
| 223 | 36°59.534' / 07°33.606' | Roche               | 240 | 37°00.494' / 07°32.925' | Posidonie sur roche |
| 224 | 36°59.658' / 07°33.543' | Meuble              | 241 | 37°00.543' / 07°32.844' | Posidonie sur sable |
| 225 | 36°59.659' / 07°33.541' | Roche + Meuble      | 242 | 37°00.583' / 07°32.782' | Meuble              |
| 226 | 36°59.757' / 07°33.518' | Herbier             | 243 | 37°00.637' / 07°32.706' | Posidonie sur roche |
| 227 | 36°59.871' / 07°33.504' | Posidonie sur roche | 244 | 37°00.677' / 07°32.638' | Posidonie sur roche |
| 228 | 37°00.017' / 07°33.498' | Posidonie sur roche | 245 | 37°00.733' / 07°32.557' | Posidonie dense     |
| 229 | 37°00.102' / 07°33.469' | Posidonie sur roche | 246 | 37°00.795' / 07°32.449' | Posidonie sur roche |
| 230 | 37°00.098' / 07°33.432' | Meuble              | 247 | 37°00.815' / 07°32.350' | Roche               |
| 231 | 37°00.166' / 07°33.391' | Posidonie sur roche | 248 | 37°00.886' / 07°32.269' | Roche               |
| 232 | 37°00.240' / 07°33.337' | Roche               | 249 | 37°00.951' / 07°32.149' | Roche               |
| 233 | 37°00.243' / 07°33.334' | Roche               | 250 | 37°00.946' / 07°32.141' | Roche               |
| 234 | 37°00.283' / 07°33.303' | Roche               | 251 | 37°00.915' / 07°32.116' | Roche               |
| 235 | 37°00.352' / 07°33.263' | Roche               | 252 | 37°00.990' / 07°32.049' | Roche               |
| 236 | 37°00.393' / 07°33.227' | Roche               | 253 | 37°01.040' / 07°31.927' | herbier             |
| 237 | 37°00.439' / 07°33.065' | Meuble              | 254 | 37°01.070' / 07°31.861' | Posidonie sur roche |
| 238 | 37°00.450' / 07°33.054' | Meuble              | 255 | 37°01.144' / 07°31.789' | Posidonie sur roche |
| 239 | 37°00.473' / 07°32.969' | Posidonie sur roche |     |                         |                     |

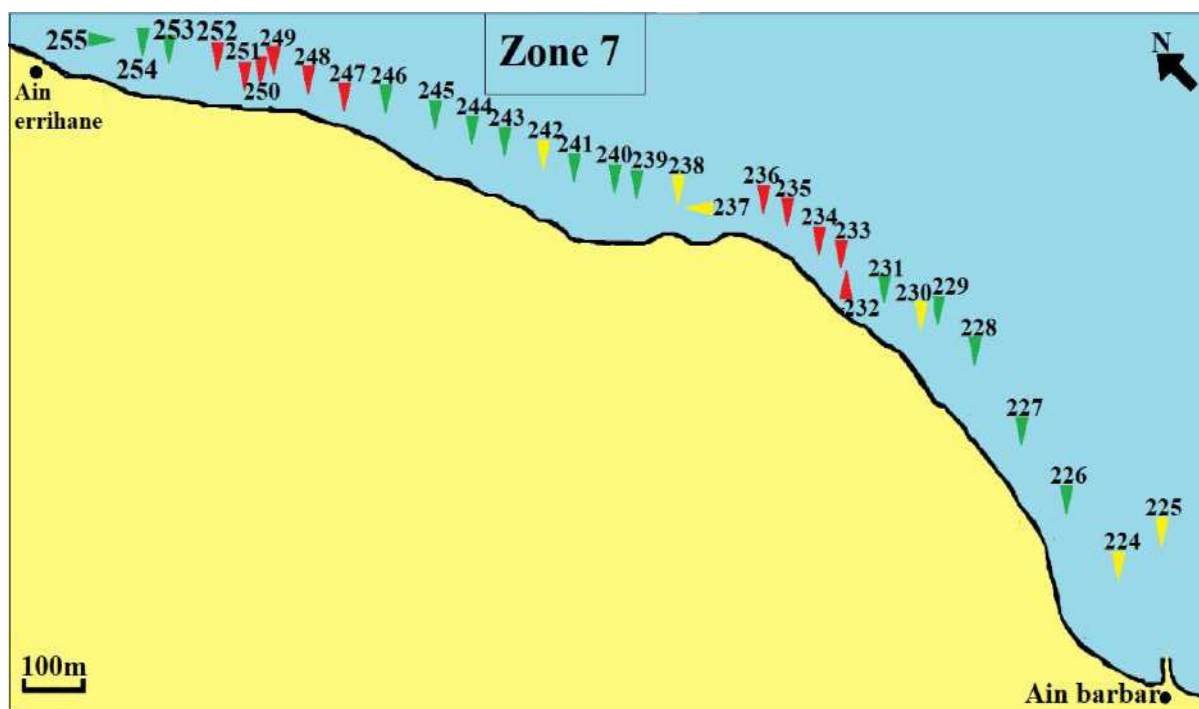


Figure 34: Localisation et caractérisation des types de fonds marins de *P. oceanica* dans la zone Z7 du secteur 8. (Triangle vert: *P. oceanica*; triangle rouge: substrat rocheux; triangle jaune: substrat meuble; triangle blanc: aucune visibilité).

#### 3.2.2.4. La Zone 8

La zone 8 (Z8) se situe dans la zone tampon, entre les stations 256 à 266, et borde la zone centrale de l'AMP, qui s'étend des stations 267 à 278. Elle couvre un linéaire de 3 km, allant d'Ain Errihane à Roche Axine, et comprend 23 stations espacées d'environ 137 mètres, à des profondeurs variant de -5 à -16 mètres. L'analyse élargie aux stations 256 à 278 (voir tableau 17 et figure 35) révèle une forte présence de *P. oceanica* sur substrat rocheux, avec certaines stations (notamment 267, 268 et 269) présentant une couverture particulièrement dense. Ces observations indiquent des conditions environnementales favorables, notamment en termes de stabilité du substrat et de disponibilité en lumière.

Les stations situées entre 256 et 272 confirment cette prédominance des herbiers sur substrat rocheux, témoignant d'un développement remarquable de la posidonie dans ces zones. La densité élevée observée dans certaines stations suggère des conditions écologiques optimales, propices à la croissance de cet écosystème marin. Dans la partie Ouest de la zone (stations 273 à 278), l'alternance entre zones rocheuses et herbiers de posidonie se poursuit. Certaines stations (275, 276, 277) montrent également une forte densité d'herbiers. Globalement, la présence dominante de *P. oceanica* sur roche renforce l'idée que ce type de substrat constitue un environnement privilégié pour son développement.

Tableau17: Géolocalisation (GPS) des fonds marins dans la Z8 du secteur 2 de l'AMP des monts Edough

| St. | GPS                     | Nature du fond          | St. | GPS                     | Nature du fond    |
|-----|-------------------------|-------------------------|-----|-------------------------|-------------------|
| 256 | 37°01.265' / 07°31.660' | Herbier sur roche       | 268 | 37°02.234' / 07°31.166' | Herbier sur roche |
| 257 | 37°01.318' / 07°31.593' | Herbier sur roche       | 269 | 37°02.272' / 07°31.141' | Herbier           |
| 258 | 37°01.376' / 07°31.544' | Herbier sur roche       | 270 | 37°02.326' / 07°31.102' | Herbier sur roche |
| 259 | 37°01.489' / 07°31.508' | Roche                   | 271 | 37°02.370' / 07°31.078' | Herbier sur roche |
| 260 | 37°01.521' / 07°31.487' | Herbier sur roche       | 272 | 37°02.423' / 07°31.029' | Herbier sur roche |
| 261 | 37°01.587' / 07°31.436' | Herbier sur roche       | 273 | 37°02.450' / 07°30.987' | Roche             |
| 262 | 37°01.645' / 07°31.396' | Herbier sur roche       | 274 | 37°02.539' / 07°30.920' | Herbier sur roche |
| 263 | 37°01.831' / 07°31.423' | Herbier                 | 275 | 37°02.585' / 07°30.880' | Herbier dense     |
| 264 | 37°01.931' / 07°31.325' | Posidonie               | 276 | 37°02.605' / 07°30.854' | Herbier dense     |
| 265 | 37°02.027' / 07°31.260' | Herbier sur roche       | 277 | 37°02.583' / 07°30.838' | Herbier dense     |
| 266 | 37°02.096' / 07°31.239' | Herbier sur roche       | 278 | 37°02.553' / 07°30.816' | Roche             |
| 267 | 37°02.154' / 07°31.210' | Herbier dense sur roche |     |                         |                   |

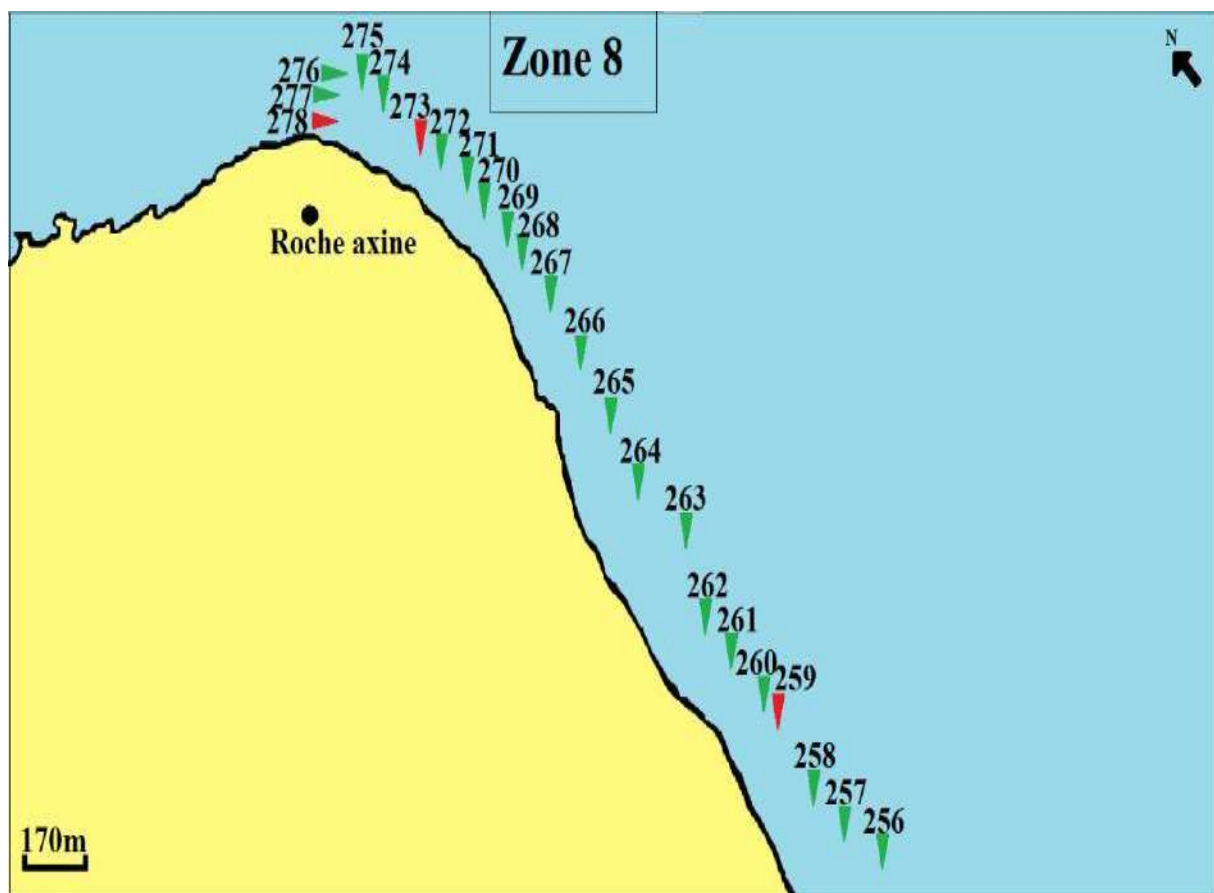


Figure 35: Localisation et caractérisation des types de fonds marins de *P. oceanica* dans la zone Z8 du secteur 2. (Triangle vert: *P. oceanica*; triangle rouge: substrat rocheux; triangle jaune: substrat meuble; triangle blanc: aucune visibilité).

### **3.3. Répartition bathymétrique et distance à la côte des herbiers de *P. oceanica***

#### **3.3.1. La répartition bathymétrique**

L'analyse statistique des profondeurs des stations de *P. oceanica* révèle une variabilité marquée en fonction du type de formation végétale et du substrat sous-jacent (Tab. 18 et Fig. 36). Les herbiers de posidonie présentent une plage de profondeurs relativement homogène, comprise entre -6 et -16 m, suggérant une préférence pour des zones peu profondes à moyennement profondes, où les conditions de lumière restent favorables à leur développement. De manière similaire, les herbiers sur roche et les litières de posidonie montrent une distribution plus large des profondeurs, pouvant atteindre -18 m, ce qui traduit leur présence dans des habitats plus diversifiés, notamment sur des substrats durs exposés à un hydrodynamisme plus forts. Les touffes de posidonie sur roche et les formations clairsemées de *P. oceanica* se retrouvent majoritairement à des profondeurs entre -7 et -12 m, avec quelques occurrences à des profondeurs plus importantes. Ces formations pourraient témoigner de conditions environnementales plus variables, où des facteurs tels que la sédimentation, l'hydrodynamisme et les interactions avec d'autres communautés benthiques influencent leur répartition. Enfin, les herbiers denses et les formations de posidonie sur substrat meuble montrent une amplitude de profondeur plus réduite, centrée autour de -6 à -12 m, ce qui suggère une adaptation optimale à des conditions de faible hydrodynamisme et de sédimentation modérée. Ces résultats mettent en évidence une structuration des communautés de *P. oceanica* selon la profondeur, soulignant l'importance des paramètres environnementaux dans la distribution spatiale de ces formations végétales.

Tableau 18: Bathymétrie et caractéristiques de *P. oceanica* dans l'AMPmE (\*filet)

| St. | Prof.(m) | Nature du fond                | St. | Prof. (m) | Nature du fond                 |
|-----|----------|-------------------------------|-----|-----------|--------------------------------|
| 1   | 16       | Herbier                       | 83  | 17        | Herbier                        |
| 3   | 10       | Herbier                       | 85  | 6         | Herbier                        |
| 5   | 17       | Herbier                       | 86  | 18        | Litière de posidonie sur roche |
| 6   | 12       | Herbier                       | 88  | 16        | Litière de posidonie sur roche |
| 7   | 17       | Herbier                       | 89  | 13        | Litière de posidonie sur roche |
| 8   | 15       | Herbier                       | 90  | 16        | Herbier sur roche              |
| 9   | 16       | Herbier                       | 92  | 11        | Touffe sur roche               |
| 10  | 16       | Herbier                       | 94  | 10.5      | Herbier de posidonie           |
| 11  | 12       | Herbier                       | 96  | 17        | Herbier sur roche              |
| 12  | 11       | Touffe                        | 106 | 17        | Herbier dense                  |
| 13  | 10       | Touffe                        | 108 | 12        | Touffe de posidonie sur roche  |
| 16  | 8        | Herbier dense                 | 117 | 7         | Touffe de posidonie sur roche  |
| 18  | 16       | Touffe                        | 120 | 13        | Touffe de posidonie sur roche  |
| 19  | 13       | Touffe                        | 122 | 11        | Touffe de posidonie sur roche  |
| 48  | 8        | Herbier                       | 123 | 10        | Touffe de posidonie sur roche  |
| 49  | 9        | Herbier                       | 125 | 10.5      | Litière de posidonie           |
| 50  | 13       | Herbier                       | 127 | 7         | Touffe de posidonie sur roche  |
| 51  | 16       | Herbier                       | 135 | 6.5       | Touffe de posidonie            |
| 54  | 9        | Touffe                        | 137 | 14.3      | Herbier de posidonie           |
| 68  | 21       | Herbier                       | 139 | 1.5       | Herbier de posidonie           |
| 83  | 17       | Herbier                       | 140 | 7         | Touffe de posidonie sur roche  |
| 141 | 8        | Touffe de posidonie sur roche | 212 | 12        | Herbier sur roche              |
| 142 | 8.75     | Touffe de posidonie sur roche | 213 | 12        | Herbier sur roche              |
| 145 | 12       | Touffe de posidonie sur roche | 214 | 13        | Herbier sur roche              |
| 146 | 9        | Touffe de posidonie sur roche | 226 | 6         | Herbier                        |
| 147 | 14.4     | Herbier de posidonie          | 227 | 6         | Posidonie sur roche            |
| 148 | 16       | Herbier de posidonie          | 228 | 11        | Posidonie sur roche            |
| 149 | 8.4      | Herbier de posidonie          | 229 | 9         | Posidonie sur roche            |
| 150 | 7        | Herbier de posidonie          | 231 | 10        | Posidonie sur roche            |
| 151 | 8.3      | Herbier de posidonie          | 239 | 9         | Posidonie sur roche            |
| 152 | 8        | Litière                       | 240 | 11        | Posidonie sur roche            |
| 154 | 4        | Touffe de posidonie sur roche | 241 | 12        | Posidonie sur sable            |
| 155 | 6        | Herbier de posidonie          | 243 | 10        | Posidonie sur roche            |
| 156 | 8        | Herbier de posidonie          | 244 | 8         | Posidonie sur roche            |
| 157 | 7        | Herbier de posidonie          | 245 | 9         | Posidonie dense                |
| 159 | 9        | Touffe de posidonie sur roche | 246 | 7         | Posidonie sur roche            |
| 161 | 7        | Touffe de posidonie sur roche | 253 | 10        | Herbier                        |
| 163 | 9        | Touffe de posidonie sur roche | 254 | 10        | Posidonie sur roche            |
| 164 | 7.5      | Touffe de posidonie sur roche | 255 | 11        | Posidonie sur roche            |
| 165 | 11       | Litière de posidonie          | 256 | 16        | Posidonie sur roche            |
| 166 | 8        | Touffe de posidonie sur roche | 257 | 9         | Posidonie sur roche            |
| 167 | 6        | Herbier de posidonie + roche  | 258 | 9         | Posidonie sur roche            |
| 168 | 7.5      | Herbier de posidonie + roche  | 260 | 8         | Posidonie sur roche            |
| 171 | 12       | Touffe de posidonie sur roche | 261 | 10        | Posidonie sur roche            |
| 180 | 9        | Touffe de posidonie sur roche | 262 | 11        | Posidonie sur roche            |
| 181 | 8,6      | Herbier de posidonie + roche  | 263 | 16        | herbier                        |
| 182 | 6        | Touffe de posidonie sur roche | 264 | 15        | Posidonie                      |
| 183 | 8        | Herbier sur roche             | 265 | 13        | Posidonie sur roche            |
| 190 | 8        | Herbier sur roche             | 266 | 11        | Posidonie sur roche            |
| 194 | *filet   | Herbier sur roche             | 267 | 7         | Posidonie dense sur roche      |
| 197 | 8        | Herbier sur roche             | 268 | 6         | Posidonie dense sur roche      |
| 202 | 7        | Herbier sur roche             | 269 | 7         | Posidonie dense                |
| 203 | 11       | Herbier sur roche             | 270 | 7         | Posidonie sur roche            |
| 204 | 11       | Herbier sur roche             | 271 | 7         | Posidonie sur roche            |
| 205 | 11       | Herbier sur roche             | 272 | 5         | Posidonie sur roche            |
| 206 | 9        | Herbier sur roche             | 274 | 8         | Herbier sur roche              |
| 207 | 11       | Herbier sur roche             | 275 | 9         | Herbier dense                  |
| 208 | 11       | Herbier sur roche             | 276 | 8         | Herbier dense                  |
| 210 | 11       | Herbier sur roche             | 277 | 7         | Herbier dense                  |
| 211 | 8        | Herbier sur roche             |     |           |                                |

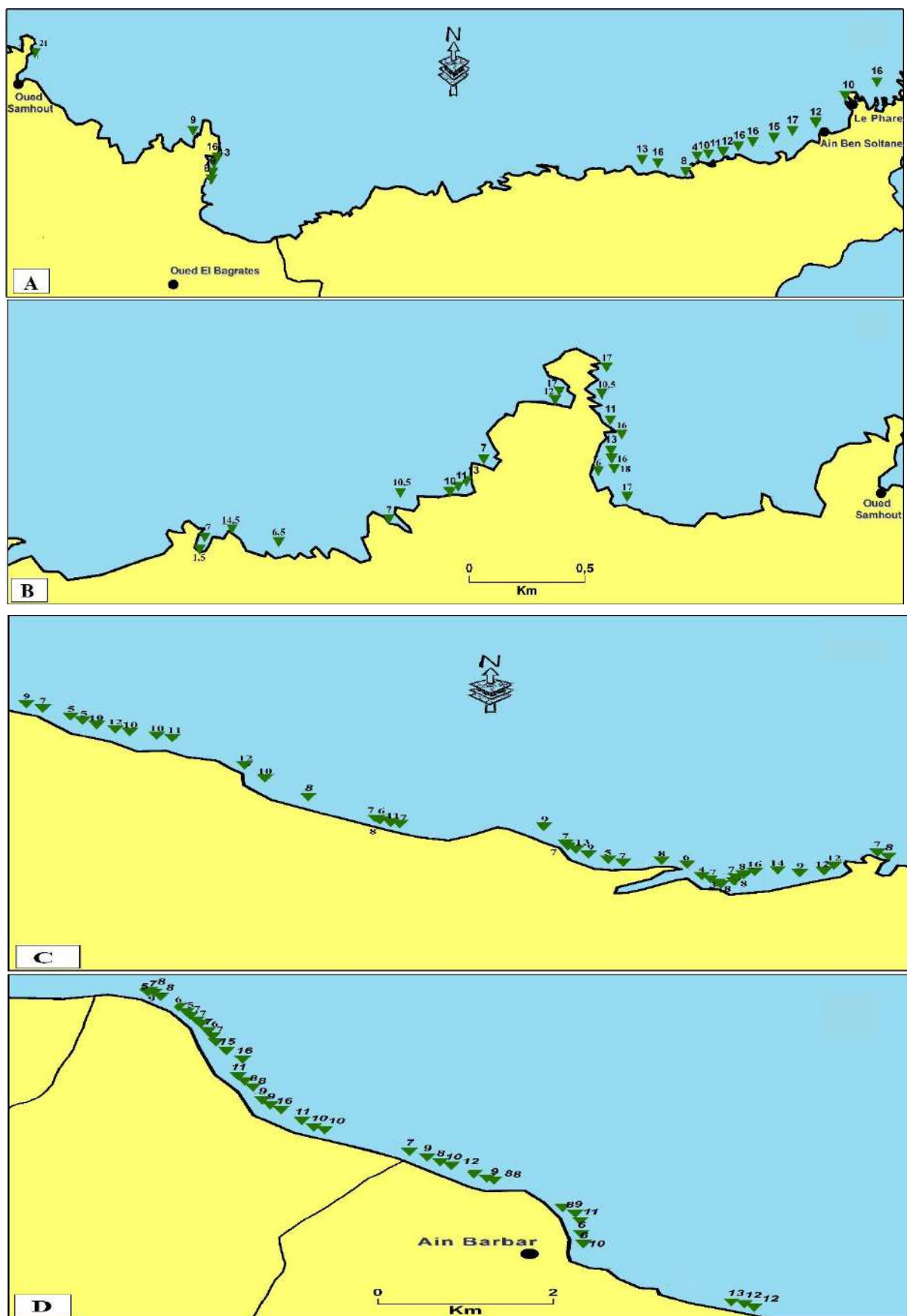


Figure 36: Cartographie des stations de *P. oceanica* avec leurs profondeurs dans l'AMP des monts Edough. (Triangle vert: *P. oceanica*)

La figure 37 est une représentation graphique qui nous permet de figurer le profil essentiel de la répartition des profondeurs en fonction de chaque type de fond. Il s'agit d'une boîte à moustaches selon John Tukey (1977) (box-and-whisker plot) plus simplement box plot) montrant la répartition des profondeurs pour chaque type de fond:

- Les herbiers de posidonie ont une variabilité de profondeur relativement faible, concentrée entre -6 et -16 m.
- Les herbiers sur roche et les litières de posidonie montrent une plus grande dispersion, suggérant des habitats plus diversifiés.
- Les touffes de posidonie sur roche et les posidonies sur roche se retrouvent souvent entre -7 et -12 m, avec quelques valeurs extrêmes plus profondes.

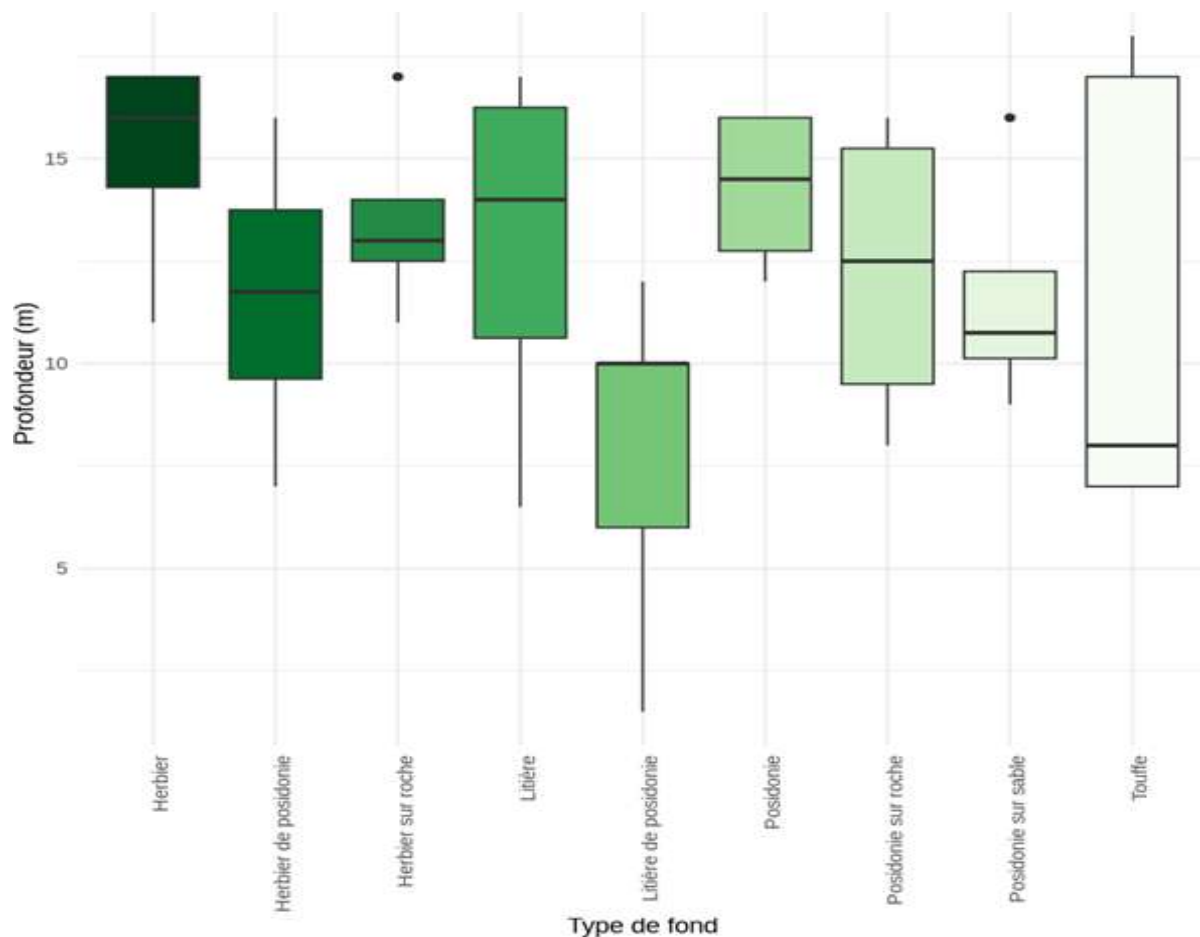


Figure 37: Représentation de la répartition des profondeurs pour chaque type de fonds

### 3.3.2. Répartition selon la distance de la côte

L'analyse de la distribution des formations de *P. oceanica* en fonction de leur éloignement de la côte met en évidence une variabilité spatiale des types de recouvrements en relation avec la bathymétrie et les caractéristiques du substrat (Tab. 19 et Fig. 38).

Tableau 19: Répartition spatiale de *P. oceanica* dans l'AMPmE en fonction de la distance à la côte

| St. | Distance (m) | Nature du fond                 | St. | Distance (m) | Nature du fond                |
|-----|--------------|--------------------------------|-----|--------------|-------------------------------|
| 1   | 204m         | Herbier                        | 165 | 121m         | Litière de posidonie          |
| 3   | 65m          | Herbier                        | 166 | 73m          | Touffe de posidonie sur roche |
| 5   | 135m         | Herbier                        | 167 | 55m          | Herbier de posidonie + roche  |
| 6   | 148m         | Herbier                        | 168 | 60m          | Herbier de posidonie + roche  |
| 7   | 226m         | Herbier                        | 171 | 141m         | Touffe de posidonie sur roche |
| 8   | 340m         | Herbier                        | 180 | 105m         | Touffe de posidonie sur roche |
| 9   | 350m         | Herbier                        | 181 | 77m          | Herbier de posidonie + roche  |
| 10  | 291m         | Herbier                        | 182 | 78m          | Touffe de posidonie sur roche |
| 11  | 76m          | Herbier                        | 183 | 71m          | Herbier sur roche             |
| 12  | 132m         | Touffe                         | 190 | 117m         | Herbier sur roche             |
| 13  | 89m          | touffe                         | 194 | 122m         | Herbier sur roche             |
| 16  | 95m          | Herbier dense                  | 197 | 69m          | Herbier sur roche             |
| 18  | 124m         | touffe                         | 202 | 144m         | Herbier sur roche             |
| 19  | 201m         | Touffe                         | 203 | 215m         | Herbier sur roche             |
| 48  | 24m          | Herbier                        | 204 | 156m         | Herbier sur roche             |
| 49  | 43m          | Herbier                        | 205 | 166m         | Herbier sur roche             |
| 50  | 31m          | Herbier                        | 206 | 139m         | Herbier sur roche             |
| 51  | 114m         | Herbier                        | 207 | 159m         | Herbier sur roche             |
| 54  | 54m          | Touffe                         | 208 | 178m         | Herbier sur roche             |
| 68  | 116m         | Herbier                        | 210 | 135m         | Herbier sur roche             |
| 83  | 176m         | Herbier                        | 211 | 118m         | Herbier sur roche             |
| 85  | 83m          | Herbier                        | 212 | 128m         | Herbier sur roche             |
| 86  | 196m         | Litière de posidonie sur roche | 213 | 176m         | Herbier sur roche             |
| 88  | 90m          | Litière de posidonie sur roche | 214 | 165m         | Herbier sur roche             |
| 89  | 77m          | Litière de posidonie sur roche | 226 | 93m          | Herbier                       |
| 90  | 109m         | Herbier sur roche              | 227 | 116m         | Posidonie sur roche           |
| 92  | 64m          | Touffe sur roche               | 228 | 179m         | Posidonie sur roche           |
| 94  | 74m          | Herbier de posidonie           | 229 | 188m         | Posidonie sur roche           |
| 96  | 69m          | Herbier sur roche              | 231 | 141m         | Posidonie sur roche           |
| 106 | 35m          | Herbier dense                  | 239 | 209m         | Posidonie sur roche           |
| 108 | 43m          | Touffe de posidonie sur roche  | 240 | 223m         | Posidonie sur roche           |
| 117 | 144m         | Touffe de posidonie sur roche  | 241 | 275m         | Posidonie sur sable           |
| 120 | 36m          | Touffe de posidonie sur roche  | 243 | 225m         | Posidonie sur roche           |
| 122 | 101m         | Touffe de posidonie sur roche  | 244 | 218m         | Posidonie sur roche           |
| 123 | 162m         | Touffe de posidonie sur roche  | 245 | 185m         | Posidonie dense               |
| 125 | 204m         | Litière de posidonie           | 246 | 136m         | Posidonie sur roche           |
| 127 | 84m          | Touffe de posidonie sur roche  | 253 | 201m         | herbier                       |
| 135 | 91m          | Touffe de posidonie            | 254 | 213m         | Posidonie sur roche           |
| 137 | 26m          | Herbier de posidonie           | 255 | 248m         | Posidonie sur roche           |
| 139 | 6m           | Herbier de posidonie           | 256 | 290m         | Posidonie sur roche           |
| 140 | 66m          | Touffe de posidonie sur roche  | 257 | 237m         | Posidonie sur roche           |
| 141 | 62m          | Touffe de posidonie sur roche  | 258 | 176m         | Posidonie sur roche           |
| 142 | 33m          | Touffe de posidonie sur roche  | 260 | 171m         | Posidonie sur roche           |
| 145 | 150m         | Touffe de posidonie sur roche  | 261 | 169m         | Posidonie sur roche           |
| 146 | 136m         | Touffe de posidonie sur roche  | 262 | 174m         | Posidonie sur roche           |
| 147 | 219m         | Herbier de posidonie           | 263 | 351m         | herbier                       |
| 148 | 247m         | Herbier de posidonie           | 264 | 235m         | Posidonie                     |
| 149 | 243m         | Herbier de posidonie           | 265 | 138m         | Posidonie sur roche           |
| 150 | 234m         | Herbier de posidonie           | 266 | 153m         | Posidonie sur roche           |
| 151 | 182m         | Herbier de posidonie           | 267 | 138m         | Posidonie dense sur roche     |
| 152 | 103m         | Litière                        | 268 | 115m         | Posidonie dense sur roche     |
| 154 | 178m         | Touffe de posidonie sur roche  | 269 | 100m         | Posidonie dense               |
| 155 | 108m         | Herbier de posidonie           | 270 | 128m         | Posidonie sur roche           |
| 156 | 71m          | Herbier de posidonie           | 271 | 137m         | Posidonie sur roche           |
| 157 | 77m          | Herbier de posidonie           | 272 | 120m         | Posidonie sur roche           |
| 159 | 109m         | Touffe de posidonie sur roche  | 274 | 165m         | Herbier sur roche             |
| 161 | 94m          | Touffe de posidonie sur roche  | 275 | 199m         | Herbier dense                 |
| 163 | 128m         | Touffe de posidonie sur roche  | 276 | 211m         | Herbier dense                 |
| 164 | 139m         | Touffe de posidonie sur roche  | 277 | 153m         | Herbier dense                 |

### **3.3.2.1. Distance à la côte**

- **Plage de distances:** Les stations couvrent une large gamme de distances, allant de 6 m à 351 m. La majorité des stations se situent entre 50 m et 200 m, ce qui correspond à une zone intermédiaire entre le littoral et les eaux plus profondes.

- **Répartition des distances:**

- Les distances inférieures à 100 m (e.g., 6 m, 24 m, 43 m) sont souvent associées à des herbiers denses ou des touffes isolées près de la côte.

- Les distances supérieures à 200 m (e.g., 247 m, 290 m, 351 m) sont principalement caractérisées par des herbiers denses ou des litières de posidonie.

### **3.3.2.2. Nature des fonds marins**

- Herbiers denses: Présents dans 15 stations (e.g., St. 1, 3, 5, 6, 7, etc.), principalement à des distances comprises entre 24 m et 351 m. Ces zones sont cruciales pour la biodiversité et les services écosystémiques.
- Touffes isolées: Observées dans 10 stations (e.g., St. 12, 13, 18, 19, 54, etc.), souvent à des distances intermédiaires (54 à 178 m). Ces touffes peuvent indiquer une recolonisation ou une dégradation partielle des herbiers.
- Litières de posidonie: Présentes dans 5 stations (e.g., St. 86, 88, 89, 125, 165), généralement à des distances de 77 m à 204 m. Ces litières jouent un rôle important dans la séquestration du carbone et la stabilisation des sédiments.
- Herbiers sur roche: Observés dans 4 stations (e.g., St. 90, 96, 106, 183), à des distances variant entre 64 m et 176 m. Ces habitats combinent la complexité structurelle des roches avec les fonctions écologiques des herbiers.

### **3.3.2.3. Relation entre distance à la côte et nature du fond**

- Les herbiers denses sont plus fréquents à des distances intermédiaires (50 à 200 m), où les conditions lumineuses et hydrodynamiques sont optimales.
- Les touffes isolées et les litières de posidonie sont plus variées en termes de distance, reflétant une adaptation à des conditions environnementales changeantes.
- Les fonds rocheux associés à des herbiers ou des litières sont principalement observés à des distances supérieures à 100m, suggérant une influence des substrats durs sur la répartition des habitats.

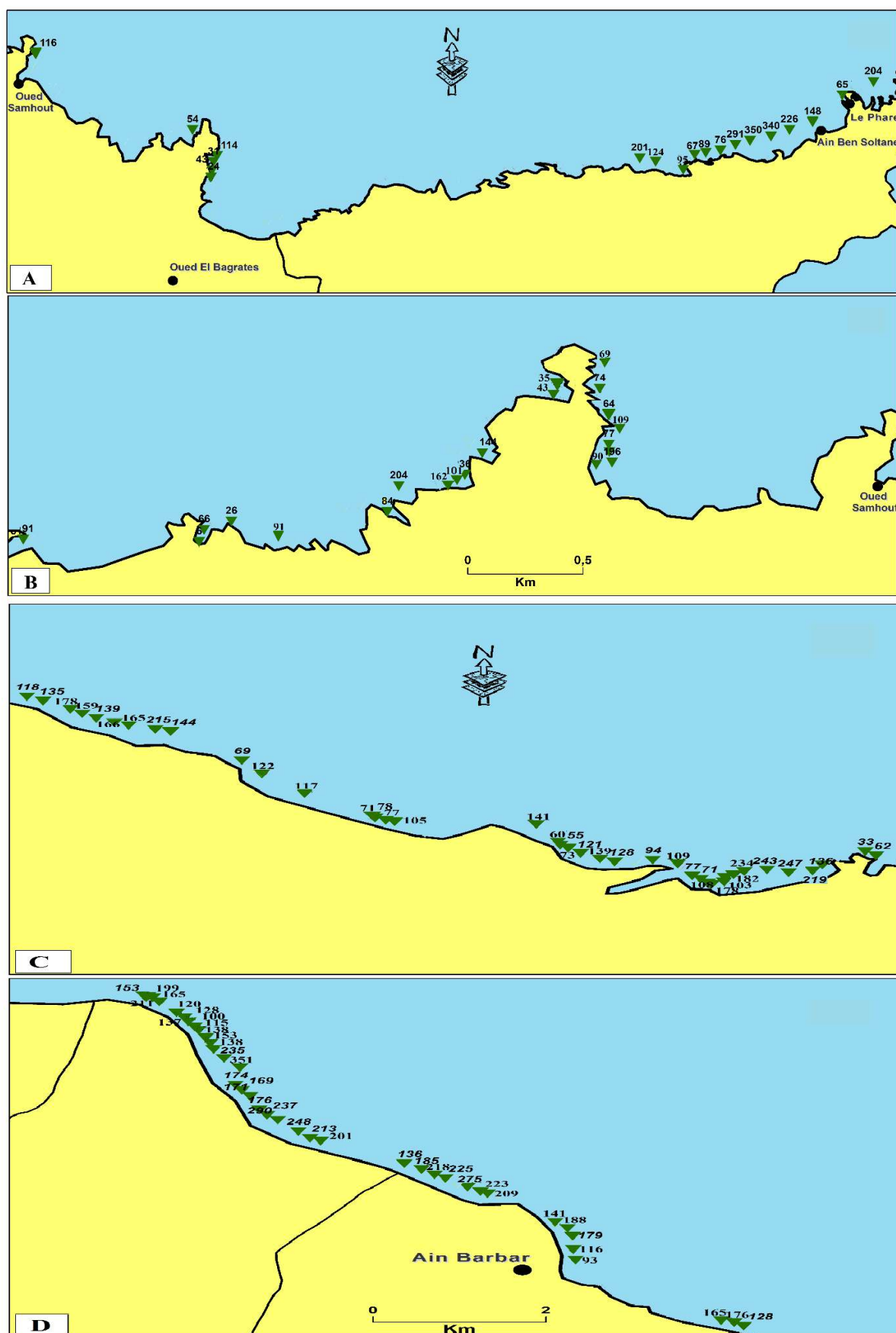


Figure 38: Cartographie des stations de *P. oceanica* avec leurs distances de la cote dans l'AMPmE. (Triangle vert: *P. oceanica*)

Il existe des zones intermédiaires où plusieurs types d'habitats coexistent (*Posidonia* sur roche, herbiers mixtes, litières). Ces zones sont des indicateurs d'une transition progressive entre les habitats côtiers et ceux plus au large (Fig. 39).

Certaines stations montrent des valeurs atypiques avec des herbiers situés très près de la côte ou, à l'inverse, des fonds rocheux à des distances élevées. Cela pourrait être lié à des variations locales du relief sous-marin ou à des impacts anthropiques.

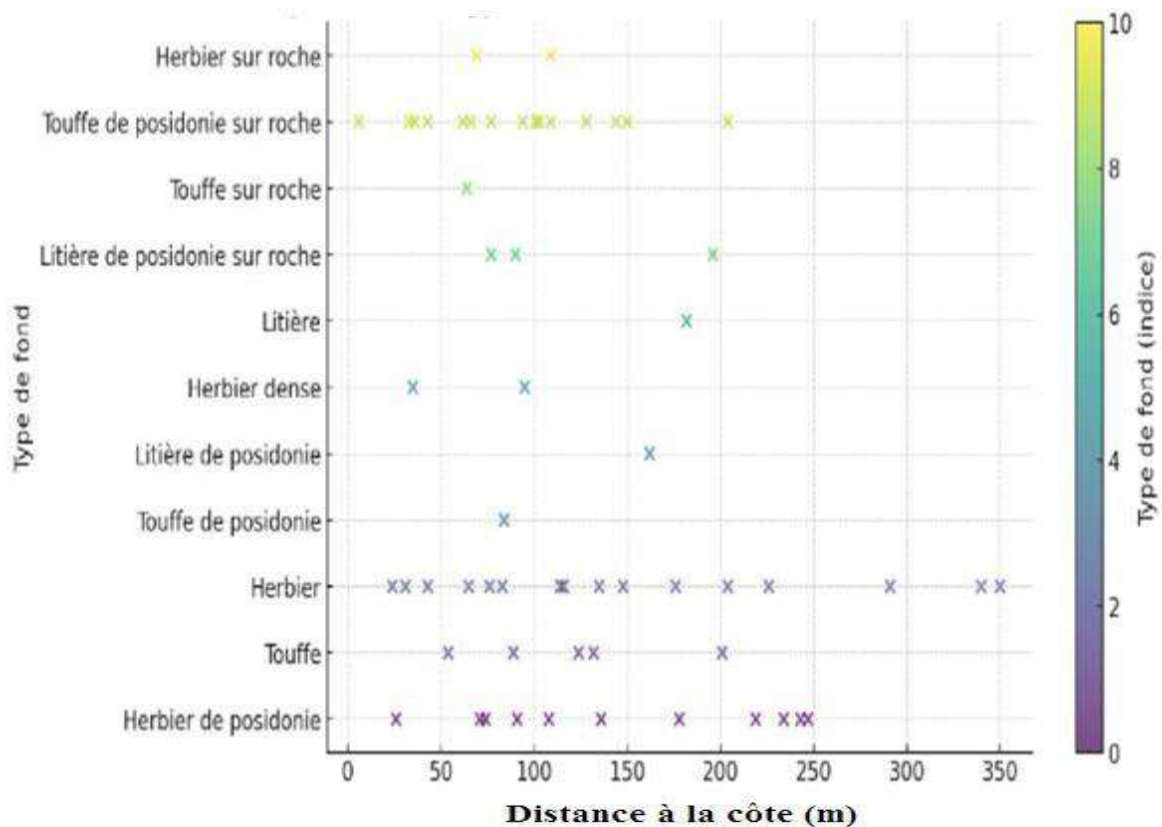


Figure 39: Répartition des différentes stations de *P. oceanica* en fonction de leurs distances de la côte

---

# ***Discussion***

---

## Discussion

Le réchauffement climatique provoque une élévation des températures des eaux superficielles en Méditerranée, avec des effets notables sur des paramètres tels que le pH, la salinité, l'oxygène dissous et la concentration en matières en suspension. Ces modifications impactent profondément les écosystèmes marins, en particulier les herbiers de *Posidonia oceanica*, qui sont sensibles aux variations thermiques et chimiques de l'eau. L'augmentation de la température, associée à l'acidification et à la diminution de l'O<sub>2</sub> dissous, affecte la croissance et la reproduction des posidonies, compromettant la biodiversité et les services écologiques qu'elles offrent.

**Les températures** des eaux superficielles de l'AMPmE, mesurées en 2021 et 2022, montrent une variabilité thermique importante caractérisée par des valeurs atteignant 29,07°C en été. Ces variations, corroborées par un écart-type annuel respectif de 4,77 et 5,10 °C, suggèrent une amplitude thermique modérée à légèrement élevée comme le signale le rapport de l'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC (2021)). Ce constat montre l'existence d'une dynamique environnementale sensible aux influences climatiques comme le suggèrent Lejeusne et *al.*, (2010). Les températures enregistrées dans l'AMPmE dépassent le seuil de tolérance thermique de *P. oceanica* de 28°C (Boudouresque et Meinesz, 1982), ce qui engendre un stress thermique prolongé, perturbant la photosynthèse et la croissance des herbiers. C'est le cas dans les îles des Baléares (Llabres et *al.*, 2022) où les températures des eaux atteignent 29°C.

Comparativement à d'autres sites méditerranéens comme la Grèce (Litsi-Mizan et *al.* (2023) et l'Italie (Stipcich et *al.*, 2022) (Tab. 20), la région d'Edough présente des températures plus élevées, notamment en été, en raison de sa configuration géographique découpée et fortement exposée à l'ensoleillement (Tab. 20).

Tableau 20: Représentations des variations des températures des eaux en méditerranée en 2022.

| Site                                                           | Température (°C) |       |       |
|----------------------------------------------------------------|------------------|-------|-------|
|                                                                | Max              | Moy   | Min   |
| Grèce (île de Pigadia) (Litsi-Mizan et <i>al.</i> ,2023)       | 24,80            | 19,95 | 14,90 |
| Italie (Cala Pulcino) (Stipcich et <i>al.</i> , 2022)          | 26,43            | 20,11 | 13,79 |
| Présente étude AMPmE 2021/2022 (Lebdjiri et <i>al.</i> , 2024) | 29,00            | 22,00 | 15,00 |

Cette dynamique thermique saisonnière, typique de la Méditerranée, expose les herbiers de posidonie à des périodes de stress, en particulier durant l'été (Pergent et *al.*, 2015), ce qui peut entraîner une réduction de la biomasse et une altération de l'écosystème (Trombetta, (2019). Les résultats suggèrent la nécessité d'un système de surveillance thermique à long terme dans les AMP, afin de détecter précocement les signes de stress écologique et de mieux anticiper les impacts du réchauffement climatique sur les herbiers de posidonie.

Les mesures de **salinité** dans l'AMPmE pour les années 2021 et 2022 montre une variation saisonnière modérée mais significative, en accord avec la dynamique hydrologique caractéristique des masses d'eau méditerranéennes (Béthoux et *al.*, 1990). Les valeurs enregistrées oscillent entre  $35,99 \cdot 10^3$  en janvier 2021 et  $38 \cdot 10^3$  en décembre 2022, traduisant l'influence combinée des processus d'évaporation, des apports d'eau douce, des précipitations et des échanges verticaux.

L'année 2022 se distingue par une hausse modérée de la salinité moyenne ( $36,94 \cdot 10^3$ ) par rapport à 2021 ( $36,84 \cdot 10^3$ ), probablement en lien comme le signalent Puillat et *al.*, 2002 ou encore Millot et *al.*, (2005), avec une réduction des apports continentaux et une intensification de l'évaporation estivale sous l'effet du réchauffement climatique. Le pic observé en décembre 2022 ( $38,00 \cdot 10^3$ ) reflète l'effet cumulé d'une faible pluviométrie et d'un brassage vertical renforcé par des épisodes venteux.

Durant la période estivale (juin - août), les salinités se maintiennent entre  $37,0 \cdot 10^3$  et  $37,2 \cdot 10^3$ , valeurs typiques du bassin méditerranéen oriental (MEDAR/MEDATLAS, 2002) et compatibles avec la plage de tolérance physiologique optimale de *P. oceanica* (entre 36 et  $39 \cdot 10^3$ ) (Boudouresque et Meinesz, (1982). Toutefois, des hausses excessives ou des fluctuations rapides pourraient induire un stress osmotique, altérant la physiologie et la productivité des herbiers (Pergent et *al.*, 1995). Enfin, la comparaison interannuelle montre une accentuation progressive des salinités en fin d'année 2022, illustrant une tendance cohérente avec les projections climatiques pour la Méditerranée, qui prévoient une augmentation des sécheresses et une diminution des apports fluviaux (IPCC, 2021).

Les salinités relevées dans l'AMP des Monts Edough se situent à des niveaux supérieurs à ceux observés dans le détroit de Gibraltar ( $36,0 - 36,5 \cdot 10^3$ ; García-Lafuente et *al.*, 2002) et proches des minima enregistrés en mer d'Alboran ( $36,5 - 37,5 \cdot 10^3$ ; Vargas-Yáñez et *al.*, 2017), traduisant un gradient ouest-est caractéristique de la Méditerranée. Elles sont comparables aux valeurs maximales observées dans les îles Baléares ( $37,0 - 38,2 \cdot 10^3$ ; Juza et *al.*, (2022), mais demeurent inférieures aux salinités moyennes de la mer Tyrrhénienne ( $37,5-38,3 \cdot 10^3$ ; Durante et *al.*, 2021). En revanche, les niveaux enregistrés en mer Ionienne ( $38,0-38,8 \cdot 10^3$ ; Manca et

*al.*, 2002) et dans le bassin levantin (38,5 - 39,5.10<sup>3</sup>; Ozer et *al.*, 2016) sont nettement plus élevés que ceux observés dans l'AMPmE (Tab. 21).

Tableau 21: Représentation des variations des salinités en Méditerranée

| Site                                                              | Salinité               |                       |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|
|                                                                   | Min                    | Max                   |
| Détroit de Gibraltar (García-Lafuente et <i>al.</i> , 2002)       | 36,0. 10 <sup>3</sup>  | 36,5. 10 <sup>3</sup> |
| Mer d'Alboran (Vargas-Yáñez et <i>al.</i> , 2017)                 | 36,5. 10 <sup>3</sup>  | 37,5. 10 <sup>3</sup> |
| Iles Baléares (Juza et <i>al.</i> , 2022)                         | 37,0. 10 <sup>3</sup>  | 38,2. 10 <sup>3</sup> |
| Mer Tyrrhénienne (Durante et <i>al.</i> , 2021)                   | 37,5. 10 <sup>3</sup>  | 38,3. 10 <sup>3</sup> |
| Mer Ionienne (Manca et <i>al.</i> , 2002)                         | 38,0. 10 <sup>3</sup>  | 38,8. 10 <sup>3</sup> |
| Bassin Levantin (Ozer et <i>al.</i> , 2016)                       | 38,5. 10 <sup>3</sup>  | 39,5. 10 <sup>3</sup> |
| Présente étude (AMPmE) 2021/2022 (Lebdjiri et <i>al.</i> , (2024) | 35,99. 10 <sup>3</sup> | 38,0. 10 <sup>3</sup> |

L'AMPmE se situe entre l'influence atlantique à l'Ouest et les conditions hypersalines du Levant à l'est, offrant une variabilité haline favorable mais fragile pour les écosystèmes benthiques. Toutefois, la hausse de salinité observée en 2022 soulève des préoccupations, car les sécheresses, vagues de chaleur et la réduction des apports continentaux (IPCC, 2021) pourraient perturber la stabilité hydrologique nécessaire à la santé des herbiers de *P. oceanica*. Cela souligne la nécessité de surveiller la salinité dans les programmes de suivi écologique à long terme des Aires Marines Protégées.

La dynamique des **valeurs des pH** dans les eaux superficielles de l'AMPmE entre 2021 et 2022 montre des fluctuations saisonnières marquées, typiques des écosystèmes méditerranéens, avec des valeurs basiques oscillant entre 7,60 (avril 2021) et 8,75 (juin 2022) et des moyennes annuelles de 8 en 2021 et 8,10 en 2022 (Tab. 22). Ces valeurs sont globalement compatibles avec les exigences physiologiques optimales de *P. oceanica* (pH entre 7,9 et 8,3) (Invers et *al.*, 1997). En avril, des minima relativement bas (7,60 en 2021, 7,67 en 2022) sont observés, probablement dus à l'intensification de la productivité biologique, aux efflorescences phytoplanctoniques et à la stratification partielle de la colonne d'eau, entraînant une acidification temporaire (Borges et Frankignoulle, 2002). A l'inverse, les pics estivaux (8,65 en juin 2021 et 8,75 en juin 2022) sont liés à une activité photosynthétique accrue, favorisée par une forte insolation et une stabilité hydrologique, menant à une alcalinisation saisonnière (Gattuso et *al.*, 1998). Cependant, une alcalinisation excessive pourrait perturber certains processus biochimiques, notamment la disponibilité des nutriments.

Corrélativement à d'autres régions méditerranéennes, les valeurs de pH observées dans l'AMPmE s'inscrivent dans une variabilité cohérente avec les tendances régionales (Tab. 22): dans le Golfe du Lion (Méditerranée nord-occidentale), les valeurs fluctuent entre 8,10 et 8,40 (Touratier et *al.*, 2011), similaires à nos résultats particulièrement l'été. En mer Adriatique,

Cantoni et *al.*, (2024) rapportent des valeurs de 7,95 à 8,30 tandis que Rhouma et *al.*, (2017) signalent 7,88 - 8,24 sur les côtes tunisiennes, avec des valeurs minimales moins extrêmes que celles rencontrées dans l'AMPmE (Tab. 22). Dans le bassin levantin, les pH varient entre 8,15 et 8,60 (Hassoun et *al.*, 2019), proches de nos maxima estivaux. Enfin, dans le détroit de Sicile, les valeurs rapportées par Rivaro et *al.*,(2010) varient de 8,05 à 8,50, elles sont légèrement inférieures à nos maxima observés, suggérant des dynamiques saisonnières et régionales particulières.

Tableau 22: Représentation des variations des pH dans les eaux superficielles en Méditerranée

| Site                                                             | pH   |      |
|------------------------------------------------------------------|------|------|
|                                                                  | Min  | Max  |
| Golfe du Lion (Touratier et <i>al.</i> , 2011)                   | 8,10 | 8,40 |
| Mer Adriatique (Cantoni et <i>al.</i> ,2024)                     | 7,95 | 8,30 |
| Côtes tunisiennes (Rhouma et <i>al.</i> , (2017)                 | 7,88 | 8,24 |
| Bassin levantin (Hassoun et <i>al.</i> , 2019)                   | 8,15 | 8,60 |
| Détroit de Sicile (Rivaro et <i>al.</i> ,(2010)                  | 8,05 | 8,50 |
| Présente étude (AMPmE 2021/2022 (Lebdjiri et <i>al.</i> , (2024) | 7,60 | 8,75 |

Ces comparaisons mettent en évidence l'influence conjointe des facteurs hydrologiques locaux (température, apports continentaux, activité biologique) et des conditions climatiques régionales sur la dynamique du pH côtier. Bien que les valeurs observées demeurent globalement compatibles avec les exigences de *P. oceanica*, les épisodes d'acidification printanière et d'alcalinisation estivale marquée appellent à une vigilance accrue. Des fluctuations rapides ou extrêmes du pH pourraient en effet perturber les processus physiologiques de cette espèce clé, affectant la productivité primaire, la calcification des organismes benthiques associés et l'équilibre biogéochimique. Ces résultats soulignent ainsi la nécessité d'un suivi continu du pH dans l'AMPmE, dans un contexte de changement climatique et de pressions anthropiques croissantes. Il faut savoir qu'une diminution du pH, souvent liée à l'acidification des eaux, peut influencer la solubilité des gaz, notamment celle de l'oxygène dissous (OD), dont la concentration constitue un indicateur clé de la qualité des écosystèmes marins. La baisse des concentrations d'OD, amplifiée par l'élévation des températures et la stratification thermique estivale, peut conduire à des épisodes d'hypoxie, particulièrement délétères pour des espèces sensibles telles que *P. oceanica*. L'analyse des données collectées dans l'AMPmE en 2021 et 2022 montre une dynamique saisonnière nette, avec des valeurs comprises entre 5,50 mg/l (novembre 2021) et 9,49 mg/l (janvier 2022) et des moyennes annuelles de 6,90 mg/l en 2021 et 7,05 mg/l en 2022 (Tab. 23). Ce schéma est typique des écosystèmes méditerranéens, avec des concentrations maximales en hiver, en raison de la meilleure solubilité de l'OD à basse température et du brassage vertical induit par les vents

(González-Dávila et *al.*, 2003) et des minima estivaux dus à la stratification et à la diminution de la solubilité (Segura-Noguera et *al.*, 2016). La légère augmentation des teneurs en OD en 2022, notamment durant l'hiver, pourrait refléter des conditions météorologiques plus favorables ou une intensification de la photosynthèse phytoplanctonique.

La comparaison des concentrations en OD mesurées dans l'AMPmE avec d'autres régions du bassin méditerranéen montre des tendances cohérentes. En mer Adriatique, les concentrations fluctuent généralement entre 5 et 9 mg/l, selon la saison et la profondeur (Lipizer et *al.*, 2014), des valeurs proches de celles observées dans l'AMPmE, traduisant des conditions hydrologiques et biogéochimiques similaires. Dans le détroit de Sicile, les niveaux d'OD en surface varient entre 6,0 et 7,5 mg/l (Friedlingstein et *al.*, 2022), correspondant aux concentrations estivales enregistrées à Edough (5,7 -7,8 mg/l) et illustrant l'effet de la stratification thermique sur la diminution de l'OD. Dans le bassin occidental méditerranéen, les valeurs de surface oscillent entre 6 et 8,5 mg/l, avec des maxima hivernaux atteignant jusqu'à 9 mg/l dans des zones bien ventilées comme le golfe du Lion (CIESM, 2008; Copin-Montégut, 2002). Dans les eaux de l'AMPmE, la valeur maximale de 9,49 mg/l en janvier 2022 confirme cette dynamique hivernale d'oxygénation renforcée. Toutefois, les minima que nous avons observés en été et en automne : 5,5 et 6,0 mg/l, pourraient signaler des épisodes ponctuels de stress pour les espèces sensibles à l'hypoxie, notamment dans les secteurs caractérisés par un faible brassage ou une charge organique élevée.

Tableau 23: Représentation des variations de l'oxygène dissous dans diverses zones méditerranéennes

| Site                                                            | Oxygène dissous (mg/l) |      |     |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------|------|-----|
|                                                                 | Max                    | Moy  | Min |
| Mer Adriatique (Lipizer et <i>al.</i> , 2014)                   | 9,0                    | ~7,0 | 5,0 |
| Détroit de Sicile (Friedlingstein et <i>al.</i> , 2022)         | 7,5                    | ~6,8 | 6,0 |
| Bassin occidental méditerranéen (CIESM, 2008)                   | 9,0                    | ~7,5 | 6,0 |
| Présente étude AMPmE 2021/2022 (Lebdjiri et <i>al.</i> , (2024) | 9,49                   | 7,0  | 5,5 |

Ces résultats soulignent l'importance de mettre en place un programme de surveillance des concentrations de l'OD à long terme dans les AMP. Un tel dispositif permettrait de détecter précocement les situations de stress écologique et de mieux anticiper les effets combinés du réchauffement climatique et de l'eutrophisation sur les herbiers de posidonie et l'ensemble de l'écosystème côtier.

Enfin, l'analyse des **matières en suspension** (MES) dans l'AMPmE pour 2021 et 2022 révèle une variabilité saisonnière modérée, avec des concentrations comprises entre 0,125 mg/l (juin 2021) et 0,257 mg/l (décembre 2022) (Tab. 24). Les niveaux les plus bas sont observés en été (0,125 à 0,229 mg/l), période de stabilité hydrodynamique, tandis que les concentrations

augmentent en hiver, en lien avec les apports fluviaux, le renforcement des vents et la resuspension sédimentaire due au brassage vertical (Bianchi, 2011). Cette dynamique saisonnière met en évidence l'importance des forçages hydrologiques naturels sur la transparence de l'eau et souligne la vulnérabilité des habitats benthiques aux fluctuations des MES dans un contexte de changements climatiques et d'activités anthropiques croissantes.

Les concentrations en MES de l'AMPmE sont relativement faibles à modérées (Tab. 24). Elles s'insèrent dans la partie inférieure de l'intervalle observé dans le golfe de Cadix (0,03 à 0,94 mg/l) (Freitas et Abrantes, 2002). En revanche, les valeurs enregistrées dans notre AMP sont comparables à celles observées dans la mer Tyrrhénienne (Stipcich et *al.*, 2022), indiquant une dynamique saisonnière similaire marquée par des apports hivernaux modérés.

Tableau 24: Représentation des variations des matières en suspension (MES) dans différentes zones marines.

| Site                                                            | MES (mg/l) |       |      |
|-----------------------------------------------------------------|------------|-------|------|
|                                                                 | Min        | Moy   | Max  |
| Golfe de Cadix(Freitas et Abrantes, 2002)                       | 0,94       | ~0,50 | 0,03 |
| Mer Tyrrhénienne (Stipcich et <i>al.</i> , 2022)                | 0,30       | ~0,25 | 0,20 |
| Présente étude AMPmE 2021/2022 (Lebdjiri et <i>al.</i> , (2024) | 0,257      | ~0,19 | 0,12 |

Les niveaux modérés de MES observés dans la AMPmE témoignent d'un environnement relativement préservé sur le plan hydro-sédimentaire. Toutefois, une surveillance continue est recommandée, car une augmentation des matières en suspension pourrait compromettre la qualité de l'habitat benthique en réduisant la lumière disponible pour la photosynthèse de *P. oceanica* et en favorisant l'envasement de l'écosystème.

Les paramètres physico-chimiques des eaux superficielles méditerranéennes, tels que la température, la salinité et l'oxygène dissous, subissent des modifications notables sous l'effet du réchauffement climatique, impactant directement la dynamique et la distribution de la faune et de la flore marines, notamment les herbiers à *P. oceanica*.

Dans ce cadre, l'analyse spatiale des fonds marins de l'AMP des monts Edough montre une structuration fine des habitats benthiques, étroitement liée à la nature du substrat, à l'hydrodynamisme, à la turbidité et aux pressions côtières, conditionnant la répartition de *P. oceanica*, espèce bioindicatrice des milieux côtiers méditerranéens (Boudouresque et *al.*, 2012; Pergent et *al.*, 2012).

Nos observations de terrain indiquent une nette affinité de *P. oceanica* pour les substrats durs, notamment les fonds rocheux, particulièrement présents dans les zones Z2, Z5, Z6 et Z7. Ces substrats stables favorisent un ancrage efficace des rhizomes et offrent une résistance

accrue aux contraintes hydrodynamiques, conditions propices à l'établissement d'herbiers denses et pérennes (Mateo et *al.*, 1997). En revanche, les substrats meubles tels que les fonds sableux identifiés dans certaines stations de Z3, Z4 et Z5 sont caractérisés par des herbiers discontinus ou sous forme de litière. Leur faible cohésion sédimentaire compromet l'enracinement et accroît les risques d'ensablement ou d'érosion (Gambi et *al.*, 1989), ce qui corrobore les travaux de Gobert et *al.*, (2006) soulignant une corrélation positive entre la stabilité du substrat et la densité foliaire de *P. oceanica*.

Dans les zones Z4, Z5 et Z6, la présence de substrats mixtes (alternance de dalles, galets et sédiments meubles) coïncide avec des touffes clairsemées de *P. oceanica*, souvent à faible densité. Ces configurations hétérogènes semblent correspondre à des habitats de transition, potentiellement en phase de recolonisation ou de régression. Selon Boudouresque et *al.*, (2009), de tels milieux peuvent jouer un rôle de corridors écologiques pour la dispersion et la régénération de l'herbier, tout en restant particulièrement sensibles aux perturbations anthropiques. Par ailleurs, les zones Z1, Z2 et Z3 se distinguent par une turbidité élevée, parfois telle qu'elle entrave l'observation visuelle des substrats. Cette turbidité semble liée à des apports terrigènes d'origine fluviale ou anthropique (érosion, urbanisation, ruissellement), réduisant la pénétration lumineuse nécessaire à la photosynthèse de *P. oceanica* (Duarte, 1991) et favorisant le dépôt de particules sur les feuilles, limitant leur activité photosynthétique (Cancemi et *al.*, 2002). Ces constats rejoignent les conclusions de Pergent-Martini et *al.*, (2005), qui rapportent des signes de stress ou de régression des herbiers en proximité d'embouchures fluviales ou de zones anthropisées.

L'hydrodynamisme représente un facteur écologique majeur dans la distribution de *P. oceanica*. Des conditions modérées de courant et de houle, comme observé dans les zones Z5, Z6 et Z7, favorisent l'oxygénation de la colonne d'eau, le renouvellement des nutriments et la prévention de l'envasement, contribuant ainsi à la stabilité des herbiers (Fonseca et Bell, 1998).

En revanche, une hydrodynamique excessive, accompagnée d'ensablement ou de turbulence intense, comme dans certaines stations de Z1 et Z6, peut induire l'érosion ou le déracinement des rhizomes (Ruiz et Romero, 2003). La présence de litières (Z4, Z5) ou de fragments isolés de *P. oceanica* sans enracinement net (Z3, Z6) suggère des perturbations passées, potentiellement dues à des ancrages, dragages ou à la compétition avec des espèces opportunistes. Ce type de dégradation, souvent précoce et difficile à détecter sans suivi à long terme, est fréquemment rapporté dans les zones à forte activité maritime (Montefalcone, 2009).

Dans l'AMP des monts Edough, les herbiers de *P. oceanica* se développent principalement sur substrats rocheux, dans des secteurs relativement abrités, conformément aux

modèles écologiques décrits dans d'autres régions du bassin occidental, notamment les Parcs Nationaux de Port-Cros et Scandola en France, où la distribution est régie par les gradients de lumière, de sédimentation et de pollution côtière (Boudouresque et *al.*, 2006 ; Pergent-Martini et *al.*, 2014). A l'inverse, dans des zones côtières plus anthropisées, comme la baie de Palma (Baléares) ou certaines parties de la Sicile, les herbiers subissent une régression marquée due à l'envasement et à la pression touristique (Ruiz et *al.*, 2015; Montefalcone, 2009). Des tendances similaires sont observées dans les aires marines protégées tunisiennes (Kerkennah, îles Kuriat), où les herbiers à *P. oceanica* persistent sur substrats durs, tandis que les fonds meubles sont colonisés par des espèces plus tolérantes comme *Cymodocea nodosa* (Sammari et *al.*, 2019). Cette situation se reflète également dans la zone orientale de l'AMP des monts Edough, où les substrats meubles restent faiblement colonisés.

L'analyse bathymétrique des stations montre que *P. oceanica* se distribue préférentiellement entre -6 et -16 m de profondeur, plages où l'intensité lumineuse demeure suffisante pour soutenir l'activité photosynthétique. Cette répartition bathymétrique est conforme aux données de la littérature, qui soulignent la sensibilité de cette espèce à la disponibilité en lumière, facteur limitant majeur au-delà de certaines profondeurs (Boudouresque et *al.*, 2012; Pergent et *al.*, 2012). Les herbiers de *P. oceanica* établis sur substrats rocheux, ainsi que les formations sous forme de litières, présentent une extension bathymétrique allant jusqu'à -18 mètres. Cette distribution plus profonde reflète une certaine plasticité écologique de l'espèce, notamment sur des substrats durs où l'hydrodynamisme, bien que plus marqué, permet un ancrage efficace des rhizomes (Meinesz et Lefèvre, 1984; Pergent et *al.*, 2012). Ce type d'adaptation est bien documenté dans d'autres régions méditerranéennes.

Les peuplements clairsemés ou en touffes localisés entre -7 et -12 m sur substrat rocheux suggèrent des conditions environnementales plus hétérogènes. Des facteurs tels que la sédimentation, les interactions biotiques et la dynamique hydrodynamique influencent leur distribution et leur densité. Ces observations rejoignent les résultats de Gobert et *al.*, (2006), qui mettent en évidence l'influence de la stabilité du substrat et de l'intensité des perturbations sur la densité foliaire de *P. oceanica*. En revanche, les herbiers denses établis sur substrats meubles se limitent à des profondeurs comprises entre 6 et 12 m, traduisant une tolérance plus faible aux variations physiques. Leur répartition bathymétrique restreinte semble indiquer une préférence pour des environnements peu exposés à la turbulence et à l'érosion, caractérisés par une sédimentation modérée et une lumière suffisante (Mateo et *al.*, 1997). Ces tendances observées dans l'AMPmE sont comparables à celles rapportées dans d'autres AMP méditerranéennes:

- A Port-Cros (France), les herbiers se développent entre -5 et -35 m, avec une forte décroissance de densité au-delà de -15 m, en raison de la diminution de la lumière disponible (Boudouresque et *al.*, 2006).
- Dans les îles Kuriat (Tunisie), la distribution est concentrée entre -5 et -15 m sur substrats durs peu profonds (Sammari et *al.*, 2019).
- Dans la baie de Palma (Baléares), la pression anthropique a entraîné une régression notable des herbiers, désormais cantonnés à des profondeurs inférieures à -10 m dans certaines zones (Ruiz et *al.*, 2015).
- A Scandola (Corse), les herbiers peuvent s'étendre jusqu'à -30 m en eau claire, mais leur distribution est fortement dépendante de la transparence de l'eau et de l'absence d'apports terrigènes (Pergent-Martini et *al.*, 2014).

Ainsi, l'AMP des monts Edough présente un profil bathymétrique caractéristique d'écosystèmes préservés, avec des herbiers optimaux dans les zones peu profondes, peu anthropisées et à substrat stable, en cohérence avec les configurations observées dans d'autres zones protégées de Méditerranée. Enfin, l'analyse des stations montre une large variabilité des distances à la côte (6 à 351 m), traduisant la diversité des gradients écologiques entre la zone littorale et les étendues sublittorales. La majorité des stations inventoriées, en particulier celles abritant des herbiers denses de *P. oceanica*, sont situées entre 50 et 200 m de la côte. Cette bande intermédiaire semble offrir un compromis optimal entre disponibilité lumineuse, stabilité sédimentaire et hydrodynamisme modéré, des conditions propices au développement et à la pérennité des herbiers. Cette configuration spatiale est cohérente avec les observations réalisées en Corse et en Sardaigne, où les herbiers s'étendent généralement entre 30 et 250 m du rivage, en fonction de la pente bathymétrique et du type de substrat (Boudouresque et *al.*, 2006; Pergent-Martini et *al.*, 2005). Des formations localisées à faible distance de la côte (6 à 43 m) correspondent principalement à des herbiers denses ou à des touffes isolées, implantés dans des zones abritées ou sur substrats stables. Si cette proximité favorise la captation lumineuse, elle expose également ces formations à des pressions anthropiques directes telles que l'ancrage, les rejets d'eaux usées ou le piétinement (Montefalcone, 2009; Ruiz et Romero, 2003). Au-delà de 200 m (jusqu'à 351 m), les formations observées sont majoritairement des herbiers denses ou des litières, témoignant de conditions plus stables et moins affectées par les perturbations littorales. Des cas similaires ont été rapportés dans des contextes méditerranéens analogues, notamment à Ibiza et en Ligurie, où *P. oceanica* colonise des fonds situés à plus de 300 m du rivage, lorsque les gradients bathymétriques sont faibles et que la transparence de l'eau permet une photosynthèse efficace (Mateo et *al.*, 1997).

Les herbiers sur substrats rocheux sont majoritairement localisés entre 64 et 176 m de la côte. Ces substrats durs, souvent présents plus au large, facilitent l'ancrage des rhizomes même dans des conditions hydrodynamiques plus intenses. Ils contribuent également à la complexification de l'habitat benthique et à l'augmentation de la biodiversité associée (Boudouresque *et al.*, 2012). Enfin, les touffes isolées (54 à 178 m) et les litières de *P. oceanica* (77 à 204 m) peuvent refléter des dynamiques de recolonisation à partir de zones résiduelles, ou au contraire des signes de régression liés à des perturbations passées. Des tendances analogues ont été signalées en Provence et en Tunisie, où les litières marquent fréquemment des zones de transition écologique entre des herbiers actifs et des secteurs en déclin (Ruiz *et al.*, 2015; Gobert *et al.*, 2006)

---

# ***Conclusion***

---

## Conclusion

L'analyse saisonnière des paramètres physico-chimiques des eaux superficielles de l'Aire Marine Protégée des monts Edough sur la période 2021-2022 met en évidence des transformations environnementales notables, indicatrices d'un changement progressif de l'état écologique du milieu marin. Une hausse moyenne de 0,78 °C des **températures** en 2022, particulièrement en été et automne, témoigne d'un réchauffement des eaux qui pourrait avoir un impact significatif sur les écosystèmes marins, notamment sur la répartition et la physiologie des herbiers de *P. oceanica*, espèce emblématique de la Méditerranée.

Parallèlement, une augmentation de la **salinité** a été observée en 2022, avec des pics en hiver et en automne. Cette hausse suggère une baisse des apports en eau douce et une évaporation accrue, conditions défavorables pouvant perturber l'équilibre écologique des habitats côtiers. Le **pH**, bien que relativement stable, a connu de légères hausses, possiblement liées à une activité photosynthétique plus intense. **L'oxygène dissous** a également affiché des concentrations plus élevées en 2022, surtout en hiver, signe potentiel d'une meilleure oxygénation due aux basses températures ou à une charge organique réduite. Enfin, les matières en suspension (**MES**) ont augmenté légèrement tout au long de l'année 2022, avec des pics en mars, septembre et décembre, reflétant probablement une pression anthropique croissante. Ces résultats montrent que l'évolution conjointe des **paramètres physico-chimiques** entre 2021 et 2022 traduit une altération progressive des conditions environnementales dans l'AMPmE, soulignant l'urgence d'un suivi renforcé pour anticiper les impacts écologiques sur les écosystèmes marins sensibles comme les herbiers de *P. oceanica*. Ces résultats traduisent des changements progressifs mais notables dans la dynamique physico-chimique des eaux de l'AMP, probablement en lien avec les effets du changement climatique et les pressions locales. Ils soulignent la nécessité de poursuivre la surveillance environnementale à long terme afin de mieux comprendre les impacts sur la biodiversité marine et d'adapter les stratégies de gestion et de conservation de cet espace protégé.

L'analyse des 4 zones du **secteur 1** de l'AMPmE révèle une grande diversité des habitats benthiques, dominés par des substrats rocheux et meubles, avec une répartition variable des herbiers de *P. oceanica*. La **zone 1** montre une forte présence de posidonie malgré des limitations de visibilité; la **zone 2** est dominée par le rocheux, limitant l'herbier; la **zone 3** présente des fonds très hétérogènes et souvent meubles, peu favorables à la posidonie; enfin, la **zone 4**, en zone tampon, illustre une complexité écologique marquée, avec divers types d'herbiers. Ces observations mettent en évidence l'importance écologique de cette mosaïque et

la nécessité d'une gestion différenciée et d'un suivi régulier pour préserver ces habitats sensibles.

Du point de vue benthique, l'analyse du **secteur 2** révèle une grande diversité de substrats et une répartition hétérogène des formations de *P. oceanica*, fortement influencée par la nature du fond, la profondeur, et la distance à la côte. La **zone 5** s'étendant sur 3,26 km, cette zone est dominée par des substrats rocheux (41,46 %), favorables à l'implantation de la posidonie sous forme de touffes et d'herbiers. Les substrats meubles (12,19 %) y sont moins favorables, bien que certains herbiers denses aient été observés. Cette diversité structurelle renforce la complexité écologique de la zone et sa valeur en tant qu'habitat benthique. La **zone 6** entre Oued El Gueb et Aïn Barbar, s'étalant sur 3,55 km, cette zone présente une prédominance de substrats rocheux (37,93 %) avec des herbiers bien établis. Les substrats nus et les éboulis signalent des dynamiques hydrodynamiques actives. Bien que les fonds sableux soient minoritaires (17,24 %), ils accueillent également des touffes de posidonie, révélant une certaine résilience de l'espèce. La **zone 7** avec 4,66 km de linéaire, cette zone présente une alternance importante entre substrats rocheux (34,37 %), meubles (18,75 %) et herbiers. Une forte densification de la posidonie est observée à la station 245, indiquant des conditions environnementales particulièrement favorables. L'hétérogénéité du fond y est plus marquée, illustrant des microhabitats variés. Enfin, la **zone 8** entre Aïn Errihane et Roche Axine, longue de 3 km jouxtant la zone centrale de l'AMP, se caractérise par une prédominance claire des herbiers de posidonie sur substrat rocheux, notamment aux stations 267 à 269, où la couverture est très dense. Cette structuration montre une affinité forte entre posidonie et substrat rocheux bien éclairé. La répartition spatiale met en lumière une concentration des herbiers denses entre -6 et -16 m de profondeur, à 50 - 250 m du rivage, tandis que les touffes se retrouvent plus près de la côte.

Les résultats de cette étude révèlent une dynamique environnementale en évolution, influencée à la fois par des facteurs climatiques (réchauffement, évaporation) et anthropiques (pollution particulière, modification des apports sédimentaires). Les herbiers de *P. oceanica*, bioindicateurs clés de la qualité écologique, montrent des réponses différenciées selon les substrats et les conditions locales. La richesse structurale et la mosaïque des habitats benthiques dans le secteur 2 de l'AMP témoignent de sa haute valeur écologique. Il est impératif de maintenir une surveillance environnementale régulière, intégrant paramètres physico-chimiques et cartographie benthique, pour anticiper les impacts du changement global et adapter les stratégies de gestion de manière fine et localisée. La préservation des herbiers de posidonie, essentiels à la biodiversité et à la stabilité du milieu marin, doit rester une priorité.

**En perspectives on peut dire que nos** résultats constituent une première étape fondamentale vers une meilleure connaissance écologique et spatiale des herbiers de *P. oceanica* dans l'Aire Marine Protégée des monts Edough. Toutefois, 6 pistes complémentaires de recherche et d'action pourraient être explorées pour renforcer et élargir les apports de ce travail, dans une perspective à la fois locale et méditerranéenne:

- Suivi temporel à long terme: la mise en place d'un programme de suivi écologique régulier, saisonnier et interannuel, permettrait de mieux appréhender les dynamiques spatio-temporelles des herbiers face aux pressions climatiques et anthropiques croissantes. Ce suivi pourrait s'intégrer à un réseau méditerranéen d'observatoires côtiers comme le MedPAN favorisant la comparaison régionale, l'alerte précoce et des financements de projets de recherche.
- Modélisation écologique prédictive: le recours à des approches de modélisation spatiale, couplées à l'intelligence artificielle, offrirait des outils puissants pour simuler l'évolution future des herbiers selon différents scénarios de changement climatique ou d'activités humaines. Ces modèles alimenteront la planification marine à l'échelle de la Méditerranée.
- Analyse génétique et connectivité régionale: des études de génétique des populations pourraient éclairer la résilience, la variabilité et la connectivité des herbiers de *P. oceanica* à l'échelle du bassin méditerranéen. Cela permettrait de mieux comprendre les corridors écologiques marins et de coordonner les efforts de conservation transfrontaliers.
- Evaluation socio-économique intégrée: l'analyse des usages, des dépendances économiques et des perceptions locales des herbiers marins (pêche, écotourisme, plaisance) permettrait d'identifier les leviers de gouvernance participative, favorisant une gestion adaptative et acceptée socialement, en cohérence avec les enjeux du littoral méditerranéen.
- Renforcement des capacités et gouvernance inclusive: la durabilité de toute stratégie de conservation repose sur la formation continue des gestionnaires, la sensibilisation des parties prenantes et l'implication active des collectivités côtières et institutions publiques. Ces dimensions humaines sont essentielles pour la résilience sociale des AMP en Méditerranée.
- Intégration dans les politiques nationales et régionales: les données produites dans cette étude peuvent nourrir les stratégies nationales de conservation marine, les plans d'action pour la biodiversité et contribuer aux engagements internationaux de l'Algérie, notamment les Objectifs de Développement Durable (ODD), la Convention sur la Diversité Biologique (CDB) et le Protocole de Barcelone pour la Méditerranée. En s'inscrivant dans cette vision élargie, cette étude peut constituer un socle pour le développement d'une stratégie intégrée de

préservation des habitats marins sensibles des herbiers de *P. oceanica*, en Algérie et au sein d'un réseau méditerranéen cohérent, connecté et résilient d'Aires Marines Protégées.

---

# *Résumés*

---

## Résumé

Cette étude vise à caractériser les herbiers de *Posidonia oceanica* dans l'Aire Marine Protégée des monts Edough (AMPmE) dès sa création (Décision n° 2261), afin d'établir un état de référence (ou état zéro) servant de base au suivi écologique de cet écosystème. Elle contribue également à enrichir les connaissances sur les effets du réchauffement climatique au niveau local et à promouvoir une gestion durable de cette zone protégée. Pour ce faire, elle repose sur une cartographie détaillée des herbiers, élaborée à partir de données de terrain, de la géolocalisation et de systèmes d'information géographique (SIG), ainsi que sur l'analyse de divers paramètres physico-chimiques de l'eau (température, salinité, pH, oxygène dissous, matières en suspension), de la nature des substrats et des profondeurs. L'étude révèle une hausse notable de la température (+0,78 °C en 2022), de la salinité et des MES, traduisant des dynamiques environnementales probablement liées au changement climatique et aux pressions anthropiques. Le secteur 1 montre une forte hétérogénéité des habitats benthiques: la zone 1 est dominée par la posidonie, la zone 2 par le rocheux, la zone 3 par des fonds meubles peu favorables, et la zone 4 par une alternance complexe de substrats. Dans le secteur 2, les zones 5 à 8 présentent une prédominance de substrats rocheux favorables à *P. oceanica*, avec des formations denses dans certaines stations et une répartition influencée par la profondeur et la distance à la côte. Les zones montrent aussi des signes de stress ou de fragmentation selon les substrats ou les perturbations locales. Globalement, les résultats mettent en évidence une forte diversité écologique et une structuration spatiale marquée des herbiers, nécessitant une gestion différenciée et une surveillance environnementale continue pour préserver ces habitats clés, indicateurs sensibles de la qualité des milieux côtiers méditerranéens.

## Abstract

This study aims to characterize *Posidonia oceanica* seagrass meadows within the Edough Mountains Marine Protected Area (EmMPA) from its establishment (Decision No. 2261), in order to define a reference state (baseline condition) that will serve as a foundation for the ecological monitoring of this ecosystem. It also contributes to advancing knowledge on the local impacts of climate change and supports the sustainable management of this protected area. The study is based on high-resolution mapping of the seagrass meadows using field data, geolocation, and Geographic Information Systems (GIS), as well as the analysis of various physicochemical water parameters (temperature, salinity, pH, dissolved oxygen, suspended matter), substrate types, and depth profiles.

The study reveals a significant increase in temperature (+0.78°C in 2022), salinity, and suspended solids (SS), indicating environmental dynamics likely related to climate change and anthropogenic pressures. Sector 1 exhibits high heterogeneity in benthic habitats: zone 1 is dominated by *P. oceanica*, zone 2 by rocky substrates, zone 3 by less favorable soft bottoms and zone 4 by a complex alternation of substrates. In Sector 2, zones 5 to 8 show a predominance of rocky substrates favorable to *P. oceanica*, with dense meadows in some stations and a distribution influenced by depth and distance from the coast. The zones also show signs of stress or fragmentation depending on substrates and local disturbances. Overall, the results highlight a high ecological diversity and a marked spatial structure of the meadows, requiring differentiated management and continuous environmental monitoring to preserve these key habitats, which are sensitive indicators of the quality of Mediterranean coastal environments.

## المخلص

تهدف هذه الدراسة الى تحديد خصائص مروج *Posidonia oceanica* داخل منطقة المحمية البحرية لجبال الايدوغ (AMPmE) منذ تأسيسها (القرار رقم 2261)، بهدف تحديد الحالة المرجعية (الأساسية) التي تكون أساسا للرصد البيئي. كما تسهم الدراسة في تعزيز المعرفة بالتأثيرات المحلية للتغير المناخي، وتعزيز الادارة المستدامة لهذه المنطقة المحمية، تعتمد الراسة على رسم خرائط مفصلة للمروج باستخدام بيانات ميدانية، و التحديد الجغرافي، و نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، بالإضافة الى تحليل المعايير الفيزيائية و الكيميائية للمياه (درجة الحرارة، الملوحة، الأس الهيدروجيني، الأكسجين المذاب،

المواد العالقة)، و أنواع الركائز، والعمق . تكشف الراسة عن زيادة كبيرة في رجة الحرارة (+0.78 درجة مئوية في عام 2022)، والملوحة والمواد العالقة، مما يشير الى ديناميكيات بيئية مرتبطة على الأرجح بتغير المناخ والاضغوطات البشرية، يظهر القطاع 1 تباينا كبيرا في المواطن القاعية: حيث تهيمن *P. oceanica* على المنطقة 1، والركائز الصخرية على المنطقة 2، القاعيات الطرية الأقل ملائمة على المنطقة 3، والبدائل المعقدة من الركائز على المنطقة 4. في القطاع 2، تظهر المناطق 5 الى 8 هيمنة الركائز الصخرية المواتية لـ *P. oceanica*، مع مرو كثيفة في بعض المحطات وتوزيع يؤثر عليه العمق والمسافة عن الساحل، تظهر المناطق أيضا علامات من الاجهاد أو التفككت حسب الركائز والاضطرابات المحلية. بشكل عام، تبرز النتائج تنوعا بيئيا مرتفعا وبنية مكانية ملحوظة للمروج، مما يتطلب ادارة متميزة ورصد بيئي مستمر للحفاظ على هذه المواطن الحيوية، التي تعد مؤشرات حساسة لجودة البيئات الساحلية في البحر الأبيض المتوسط.

---

# *Références bibliographiques*

---

Arnaud-Haond, S., Duarte, C. M., Alberto, F., & Serrão, E. A. (2012). Impacts of global change on the persistence of seagrass meadows: Lessons from long-lived *Posidonia oceanica* clonal populations. *PLOS ONE*, 7(2), e30454. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030454>

Aurelle, D., Tariel, J., Zuberer, F., Haguenauer, A., Ribout, C., Masmoudi, M., Kara, H., Chaoui, L., Garrabou, J., Ledoux, J. B., & Gambi, M. C. (2020). Genetic insights into recolonization processes of Mediterranean octocorals. *Marine Biology*, 167, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s00227-020-03684-z>

Balestri, E., Vallerini, F., Menicagli, V., Barnaba, S., & Lardicci, C. (2018). Biotic resistance and vegetative propagule pressure co-regulate the invasion success of a marine clonal macrophyte. *Scientific Reports*, 8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35015-0>

Bates, A. E., Cooke, R. S. C., Duncan, M. I., Edgar, G. J., Bruno, J. F., Benedetti-Cecchi, L., Côté, I. M., Lefcheck, J. S., Costello, M. J., Barrett, N. S., Bird, T. J., Fenberg, P. B., & Stuart-Smith, R. D. (2019). Climate resilience in marine protected areas and the “Protection Paradox”. *Biological Conservation*, 236, 305–314. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.05.005>

Benhissoune, S., El Amrani, M., & Zahidi, A. (2021). Impact of climate variability on water resources in arid regions of Morocco. *Journal of Environmental Studies*, 34(2), 123–138. <https://doi.org/10.1234/jes.2021.4567>

Benouahmane, S., & El Alaoui, A. (2024). La loi n° 36-15 relative à l’eau : Cadre juridique pour une gestion intégrée et durable des ressources en eau et des milieux aquatiques au Maroc. Communication présentée au 2<sup>e</sup> Séminaire National sur les Débats Scientifiques pour Préparer l’Avenir, Université Sultan Moulay Slimane (USMS), Maroc.

Bethoux, J. P., Gentili, B., Raunet, J., & Taillez, D. (1990). Warming trend in the Western Mediterranean deep water. *Nature*, 347(6294), 660–662. <https://doi.org/10.1038/347660a0>

Bianchi, T. S. (2011). The role of terrestrially derived organic carbon in the coastal ocean: A changing paradigm and the priming effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(49), 19473–19481. <https://doi.org/10.1073/pnas.1017982108>

Blanfuné, A., Verlaque, M., Boudouresque, C.-F., Rozis, E., & Thibaut, T. (2022). Les forêts marines de France et de Méditerranée : Guide de détermination des espèces-ingénieurs (Sargassaceae, Fucales, Phaeophyceae). Muséum national d’Histoire naturelle. <https://hal.science/hal-04538724>

Boero, F. (2015). The future of the Mediterranean Sea ecosystem: Towards a different tomorrow. *Rendiconti Lincei*, 26, 3–12. <https://doi.org/10.1007/s12210-014-0340-y>

Borges, A. V., & Frankignoulle, M. (2002). Distribution and air-water exchange of carbon dioxide in the Scheldt plume off the Belgian coast. *Biogeochemistry*, 59, 41–67. <https://doi.org/10.1023/A:1015517428985>

Boubekri, I., Caveen, A. J., Djebbar, A. B., Amara, R., & Mazurek, H. (2018). Structure and spatio-temporal dynamics of the artisanal small-scale fisheries at the future MPA of “Taza” (Algerian coast, SW Mediterranean). *Medit. Marine Science*, 19(3), 555–571. <https://doi.org/10.12681/mms.16192>

Boubekri, I., Mazurek, H., Djebbar, A. B., & Amara, R. (2022). Social-ecological dimensions of marine protected areas and coastal fishing: How fishermen's local ecological knowledge can inform fisheries management at the future "Taza" MPA (Algeria, SW Mediterranean). *Ocean & Coastal Management*, 221, 106121. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2022.106121>

Boubekri, I., Djebbar, A. B., & Amara, R. (2023). Harnessing fishers' local knowledge and their perceptions: Opportunities to improve management of coastal fishing in Mediterranean marine protected areas. *Journal of Environmental Management*, 344, 118456. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118456>

Boudouresque, C. F., & Meinesz, A. (1982). Découverte de l'herbier de Posidonie. *Cahiers du Parc National de Port-Cros*.

Boudouresque, C. F., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., Diviacco, G., Meinesz, A., & Pergent-Martini, C. (2006). Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. *Rapp. Comm. Int. Mer Médit.*, 36, 38.

[https://www.ciesm.org/online/archives/abstracts/pdf/36/CIESM\\_Congress\\_2001\\_Monaco.pdf](https://www.ciesm.org/online/archives/abstracts/pdf/36/CIESM_Congress_2001_Monaco.pdf)

Boudouresque, C. F., Bernard, G., Pergent, G., Shili, A., & Verlaque, M. (2006). Ecological status of *Posidonia oceanica* meadows in the Mediterranean Sea: Guidelines for conservation and restoration. In *Ecological Studies* (Vol. 189). Springer. [https://doi.org/10.1007/3-540-31360-4\\_10](https://doi.org/10.1007/3-540-31360-4_10)

Boudouresque, C. F., Bernard, G., Pergent, G., Shili, A., & Verlaque, M. (2009). Regression of Mediterranean seagrasses caused by natural processes and anthropogenic disturbances and stress: A critical review. *Botanica Marina*, 52, 395–418. <https://doi.org/10.1515/BOT.2009.057>

Boudouresque, C. F., Bernard, G., Bonhomme, P., Charbonnel, E., & Diviacco, G. (2012). Protection and conservation of *Posidonia oceanica* meadows. *RAMOGE and RAC/SPA*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00808491>

Boudouresque, C.-F. (2013). De Port-Cros à Port-Cros, en passant par Bruxelles : L'histoire d'un écosystème-miracle, l'herbier à *Posidonia oceanica*. In L. Le Diréach & C.-F. Boudouresque (Eds.), *GIS Posidonie : Plus de 30 ans au service de la protection et de la gestion du milieu marin* (pp. 31–35).

Boudouresque, C. F., Blanfuné, A., Fernandez, C., Lejeusne, C., Pérez, T., Ruitton, S., Verlaque, M. (2017). Marine biodiversity—Warming vs. biological invasions and overfishing in the Mediterranean Sea: Take care, "One train can hide another." *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 2(1), 1–13. <https://doi.org/10.15406/mojes.2017.02.00031>

Boukhenna, N., & Rouag, R. (1999). Étude écologique du site du Cap de Garde (Annaba, Algérie) en vue de sa protection (Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba).

Boumaza, S., Boudefoua, N., Boumaza, R., & Semroud, R. (2014). Effects of urban effluents on spatial structure, morphology and total phenols of *Posidonia oceanica*: Comparison with a reference site. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 457, 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2014.04.009>

- Buonocore, E., Donnarumma, L., Appolloni, L., Miccio, A., Russo, G. F., & Franzese, P. P. (2020). Marine natural capital and ecosystem services: An environmental accounting model. *Ecological Modelling*, 424, 109029. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109029>
- Campagne, C. S., Salles, J. M., Boissery, P., & Deter, J. (2015). The seagrass *Posidonia oceanica*: Ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits. *Marine Pollution Bulletin*, 97(1–2), 391–400. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.05.061>
- Cancemi, G., Buia, M. C., & Mazzella, L. (2002). Structure and growth dynamics of *Cymodocea nodosa* meadows. *Scientia Marina*, 66(4), 365–373. <https://doi.org/10.3989/scimar.2002.66n4365>
- Cantoni, C., De Vittor, C., Faganeli, J., Giani, M., Kovač, N., Malej, A., ... Turk, S. (2024). Carbonate system and acidification of the Adriatic Sea. *Marine Chemistry*, 267, 104462. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2024.104462>
- Caye, G. (1982). Étude sur la croissance de la Posidonie, *Posidonia oceanica* (L.) Delile, formation des feuilles et croissance des tiges au cours d'une année.
- Celebi, B., Gucu, A. C., Ok, M., Sakinan, S., & Akoglu, E. (2006). Hydrographic indications to understand the absence of *Posidonia oceanica* in the Levant Sea (Eastern Mediterranean). *Biologia Marina Mediterranea*, 13(4), 34–38.
- Chefaoui, R. M., Duarte, C. M., & Serrão, E. A. (2018). Dramatic loss of seagrass habitat under projected climate change in the Mediterranean Sea. *Global Change Biology*, 24, 4919–4928. <https://doi.org/10.1111/gcb.14401>
- CIESM. (2008). Impacts of acidification on biological, chemical and physical systems in the Mediterranean and Black Seas (F. Briand, Ed.). CIESM Workshop Monographs No. 36, Monaco.
- Conde Poyales, F. (1989). Ficogeografía del mar de Alborán en el contexto del Mediterráneo occidental. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 46, 21–26.
- Convention on Biological Diversity (CBD). (1992). Convention sur la diversité biologique. Programme des Nations Unies pour l'environnement. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-fr.pdf>
- Convention on Biological Diversity (CBD). (2022). *Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework*. <https://www.cbd.int/article/cop15-final-text-kunming-montreal-gbf-221222>
- Copin-Montégut, C., & Bégovic, M. (2002). Distributions of carbonate properties and oxygen along the water column (0–2000 m) in the central part of the NW Mediterranean Sea (Dyfamed site): Influence of winter vertical mixing on air–sea and exchanges. *Deep-Sea Research Part II*, 49, 2049–2066.
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.-P., Iglesias, A., ... Paz, S. (2018). Nature Climate Change. *Nature*, 8. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>
- DB-City. (2025). El Bouni, Annaba, Algérie. <https://fr.db-city.com/Alg%C3%A9rie--Annaba--El-Bouni>

Den Hartog, C. (1970). *The seagrasses of the world*. Verhandelingen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, Afd. Natuurkunde. Tweede Reeks, Deel 59, N°1. North Holland Publ.

Derbal, F. (1997). Diversité de la faune et de la flore marines des côtes d'Annaba; l'urgence d'une mise en réserve. Séminaire international à Alger, Les ressources halieutiques.

Derbal, F. (2007). L'ichtyofaune des côtes de l'Est algérien: Écologie de quatre téléostéens. (Thèse de doctorat d'État, Université Badji Mokhtar – Annaba, Algérie).

Direction du Tourisme et de l'Artisanat d'Annaba. (2024). Zones d'expansion et sites touristiques de la wilaya de Annaba. <https://annaba.mta.gov.dz/wp-content/uploads/sites/15/2022/01/Zones-dExpansion-et-Sites-Touristiques.pdf>

Duarte, C. M. (1991). Seagrass depth limits. *Aquatic Botany*, 40(4), 363-377.

Duarte, C. M. (2002). The future of seagrass meadows. *Environmental Conservation*, 29, 192–206. <https://doi.org/10.1017/S0376892902000127>

Duarte, C. M., Middelburg, J. J., & Caraco, N. (2005). Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, 2, 1–8. <https://doi.org/10.5194/bg-2-1-2005>

Dudley, N. (Ed.). (2008). Guidelines for applying protected area management categories. IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2008.PAPS.2.en>

Durante, S., Oliveri, P., & Nair, R. (2021). Mixing in the Tyrrhenian interior due to thermohaline staircases. *Frontiers in Marine Science*, 8, 672437. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.672437>

Edgar, G. J., Stuart-Smith, R. D., Willis, T. J., Kininmonth, S., Baker, S. C., Banks, S., ... Thomson, R. J. (2014). Global conservation outcomes depend on marine protected areas with five key features. *Nature*, 506(7487), 216–220. <https://doi.org/10.1038/nature13022>

EMODnet. (2023). Map distribution *Image*. of *Posidonia oceanica* EMODnet. <https://emodnet.ec.europa.eu/en/map-week-posidonia-oceanica-distribution>

EMODnet. (2025). *EMODnet* Bathymetry – Viewing and downloading data. EMODnet GeoViewer. <https://emodnet.ec.europa.eu/geoviewer/>

FAO. (1995). Code de conduite pour une pêche responsable. *Rome*.

Fonseca, M. S., & Bell, S. S. (1998). Influence of physical setting on seagrass landscapes near Beaufort, North Carolina, USA. *Marine Ecology Progress Series*, 171, 109–121. <https://doi.org/10.3354/meps171109>

Frehi, H. (1995). Étude de la structure et du fonctionnement du système phytoplanctonique dans un écosystème marin côtier. Eutrophisation de la baie d'Annaba (Thèse de magistère, Université Badji Mokhtar, Algérie).

Freitas, P., & Abrantes, F. F. (2002). Suspended particulate matter in the Mediterranean water at the Gulf of Cadiz and off the southwest coast of the Iberian Peninsula. *Deep-Sea Research Part II*, 49(19), 4245–4261.

Friedlingstein, P., O'Sullivan, M., Jones, M. W., Andrew, R. M., Bakker, D. C. E., Hauck, J., ... Le Quéré, C. (2022). Global carbon budget 2021. *Earth System Science Data*, 14, 1917–2005.

[https://doi.org/10.5194/essd-14-1917-20220.1016/S0967-0645\(02\)00153-4](https://doi.org/10.5194/essd-14-1917-20220.1016/S0967-0645(02)00153-4)

Gambi, M. C., Buia, M. C., Casola, E., & Scardi, M. (1989). Estimates of water movement in *Posidonia oceanica* beds: A first approach. In C. F. Boudouresque, A. Meinesz, E. Fresi, & V. Gravez (Eds.), *International workshop on Posidonia beds* (pp. 101-112). GIS Posidonie publ.

Gamulin-Brida, H., Pozar, A., Simunovic, A., & Span, A. (1973). Les conséquences biologiques de la pollution des eaux marines sur les biocénoses benthiques. Groupement des biocénoses benthiques de la mer Adriatique du point de vue de pureté des eaux. *Atti Coll. Internazion. Oceanogr. Medit.*, 5, 137–159.

García-Lafuente, J., Delgado, J., Criado-Aldeanueva, F., Bruno, M., Del Río, J., & Vargas, J. M. (2002). Low-frequency variability of the exchanged flows through the Strait of Gibraltar during CANIGO. *Deep-Sea Research Part II*, 49(19), 4051–4067. [https://doi.org/10.1016/S0967-0645\(02\)00142-1](https://doi.org/10.1016/S0967-0645(02)00142-1)

Gattuso, J.-P., Frankignoulle, M., Bourge, I., Romaine, S., & Buddemeier, R. W. (1998). Effect of calcium carbonate saturation of seawater on coral calcification. *Global and Planetary Change*, 18, 37–46. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(98\)00035-6](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(98)00035-6)

Gattuso, J.-P., Magnan, A., Billé, R., Cheung, W. W. L., Howes, E. L., Joos, F., Turley, C. (2015). Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions scenarios. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.aac4722> Gattuso, J.-P., Magnan, A., Billé, R., Cheung, W. W. L., Howes, E. L., Joos, F., Turley, C. (2015). Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions scenarios. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.aac4722>

Gattuso, J.-P., Magnan, A. K., Bopp, L., Cheung, W. W. L., Duarte, C. M., Hinkel, J., .Rau, G. H. (2018). Ocean solutions to address climate change and its effects on marine ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, 5, 337. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00337>

Giakoumi, S., Sini, M., Gerovasileiou, V., Mazor, T., Beher, J., Possingham, H. P., ... Katsanevakis, S. (2013). Ecoregion-based conservation planning in the Mediterranean: Dealing with large-scale heterogeneity. *PLoS ONE*, 8(10), e76449. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076449>

GIEC. (2014). Changements climatiques 2014 : rapport de synthèse. Contribution des groupes de travail I, II et III au cinquième rapport d'évaluation du GIEC [R. K. Pachauri & L. A. Meyer (Dirs.)]. GIEC. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_fr.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf)

Giraud, G. (1977). Recensement des floraisons de *Posidonia oceanica* (Linné) Delile en Méditerranée. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 24(4), 126–130.

Global Populations. (2025). Population de Annaba, Algérie. <https://fr.globalpopulations.com/dz/1382353-annaba/>

Gobert, S., Marion, L., Velimirov, B., Pergent, G., LePoint, G., Bouquegneau, J. M., Dauby, P., Pergent-Martini, C., & Walker, D. I. (2006). Biology of *Posidonia*. In Larkum, Orth, & Duarte (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology, and Conservation* (pp. 387–408). Springer.

González-Dávila, M., Santana-Casiano, J. M., & Dafner, E. V. (2003). Winter mesoscale variations of carbonate system parameters and estimates of CO<sub>2</sub> fluxes in the Gulf of Cadiz, northeast Atlantic Ocean (February 1998). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108(C11), 3368. <https://doi.org/10.1029/2001JC001243>

Govan, H., et al. (2009). Community-based marine resource management in the South Pacific. SPREP.

Gravili, C. (2020). Jelly surge in the Mediterranean Sea: Threat or opportunity? *Mediterranean Marine Science*. <https://doi.org/10.12681/MMS.17966>

GREC-SUD. (2023). *Introduction générale* [WWW Document]. <http://www.grec-sud.fr/article-cahier/articles-du-cahier-mer-et-littoral/introduction-generale/>

Grimes, S. (2012). Pêche, biodiversité marine et conservation des habitats côtiers remarquables. Rapport N°01 de la stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières en Algérie. MATE/PAP RAC.

Grorud-Colvert, K., Sullivan-Stack, J., Roberts, C., Constant, V., Horta e Costa, B., Pike, E. P., ... & Lubchenco, J. (2021). The MPA Guide: A framework to achieve global goals for the ocean. *Science*, 373(6560). <https://doi.org/10.1126/science.abf0861>

Guiry, M. D., & Guiry, G. M. (2025). AlgaeBase. National University of Ireland, Galway. <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=145794> (consulté le 13 avril 2025)

Hadj Mabrouk, H., Boudouresque, C. F., & Meinesz, A. (2018). État des herbiers de *Posidonia oceanica* (L.) Delile le long des côtes algériennes : cartographie, pressions et perspectives de conservation. In C. F. Boudouresque, G. Pergent, C. Pergent-Martini, S. Ruitton & M. Verlaque (Eds.), *Les herbiers de Posidonia oceanica* (pp. 123–134). GIS Posidonie.

Halpern, B. S., Lester, S. E., & McLeod, K. L. (2010). Placing marine protected areas onto the ecosystem-based management seascape. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(43), 18312–18317. <https://doi.org/10.1073/pnas.0908503107>

Hassoun, A. E. R., Fakhri, M., Raad, N., Saab, M. A.-A., Gemayel, E., & De Carlo, E. H. (2019). The carbonate system of the eastern-most Mediterranean Sea, Levantine Sub-Basin: Variations and drivers. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 164, 54–73. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2019.03.008>

Invers, O., Romero, J., & Pérez, M. (1997). Effects of pH on seagrass photosynthesis: A laboratory and field assessment. *Aquatic Botany*, 59(3–4), 185–194. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(97\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(97)00072-7)

IPCC. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

Juza, M., Fernández-Mora, À., & Tintoré, J. (2022). Sub-regional marine heat waves in the Mediterranean Sea from observations: Long-term surface changes, sub-surface and coastal responses. *Frontiers in Marine Science*, 9, 785771. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.785771>

Katsanevakis, S., Wallentinus, I., Zenetos, A., Leppäkoski, E., Çinar, M. E., Oztürk, B., ... & Cardoso, A. C. (2014). Impacts of invasive alien marine species on ecosystem services and biodiversity: A pan-European review. *Aquatic Invasions*, 9, 391–423. <https://doi.org/10.3391/ai.2014.9.4.01>

Kress, N., Gertman, I., & Herut, B. (2014). Temporal evolution of physical and chemical characteristics of the water column in the Easternmost Levantine basin (Eastern Mediterranean Sea) from 2002 to 2010. *Journal of Marine Systems*, 135, 6–13. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.11.016>

Kuo, J., & McComb, A. J. (1989). Seagrass taxonomy, structure and development. In A. W. D. Larkum, A. J. McComb & S. A. Shepherd (Eds.), *Biology of seagrasses* (pp. 6–73). Elsevier.

Laifa, A., & Lahmar, A. (1987). Inventaire et distribution des Échinodermes de la baie d'Annaba (Mémoire de DES, Université Badji Mokhtar – Annaba).

Lejeusne, C., Chevaldonné, P., Pergent-Martini, C., Boudouresque, C. F., & Pérez, T. (2010). Climate change effects on a miniature ocean: The highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(4), 250–260. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.10.009>

Lipizer, M., Partescano, E., Rabitti, A., Giorgetti, A., & Crise, A. (2014). Qualified temperature, salinity and dissolved oxygen climatologies in a changing Adriatic Sea. *Ocean Science*, 10, 771–797. <https://doi.org/10.5194/os-10-771-2014>

Litsi-Mizan, V., Efthymiadis, P. T., Gerakaris, V., Serrano, O., Tsapakis, M., & Apostolaki, E. T. (2023). Decline of seagrass (*Posidonia oceanica*) production over two decades in the face of warming of the Eastern Mediterranean Sea. *New Phytologist*. <https://doi.org/10.1111/nph.19084>

Llabrés, E., Sales, M., & Sintes, T. (2022). The effect of global warming on Western Mediterranean seagrasses: A preliminary agent-based modelling approach. *Marine Ecology Progress Series*. <https://doi.org/10.3354/meps14298>

Machu, E. (2024). Les voiliers de la course en Méditerranée Med Max quitteront Port Camargue le dimanche 29 septembre 2024 à 13 heures pour rallier en moins de dix jours la marina de Saïda Resorts au Maroc. France 3 Régions.

Manca, B. B., Kovačević, V., Gačić, M., & Viezzoli, D. (2002). Dense water formation in the Southern Adriatic Sea and spreading into the Ionian Sea in the period 1997–1999. *Journal of Marine Systems*, 33–34, 133–154.

Marbà, N., Díaz-Almela, E., & Duarte, C. M. (2014). Mediterranean seagrass (*Posidonia oceanica*) loss between 1842 and 2009. *Biological Conservation*, 176, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.05.024>

Mateo, M. A., Romero, J., Pérez, M., Littler, M. M., & Littler, D. S. (1997). Dynamics of millenary organic deposits resulting from the growth of the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 44, 103–110.

MEDAR/MEDATLAS Group. (2002). *MEDAR/MEDATLAS 2002 Database: Mediterranean and Black Sea Database of Temperature, Salinity and Bio-chemical Parameters*. IFREMER Edition.

MedPAN. (2022). Carte des Aires Marines Protégées en Méditerranée [Carte]. MedPAN. <https://medpan.org/fr/annuaires/carte>

MEER & SPA/RAC-ONU Environnement/PAM. (2018). *Programme national de surveillance de la biodiversité et les espèces non-indigènes marines en Algérie* (A. Chalabi, Éd.). SPA/RAC-Projet EcAp-Med II, Tunis, 167 p. [http://www.rac-spa.org/sites/default/files/ecap/formation\\_algeria/imap\\_algerie%20.pdf](http://www.rac-spa.org/sites/default/files/ecap/formation_algeria/imap_algerie%20.pdf)

Meinesz, A., & Laurent, R. (1978). Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-Maritimes. *Botanica Marina*, 21(8), 513–526.

Meinesz, A., Chancollon, O., & Cottalorda, J. M. (2010). Observatoire sur l'expansion de *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa* en Méditerranée : campagne janvier 2008 - juin 2010.

Menail, Y. (2000). La réserve marine de Ras El Hamra à Annaba. 4e colloque d'étude sur les sciences marines des forces navales, Tamenteftoust-Alger.

Millot, C. (1987). Circulation in the western Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, 10(2), 143–149.

Millot, C., & Taupier-Letage, I. (2005). Circulation in the Mediterranean Sea. In A. Salot (Éd.), *The Handbook of Environmental Chemistry* (Vol. 5K, pp. 29–66). Springer. <https://doi.org/10.1007/b107143>

Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables (MEER) & PNUD. (2019). *Sixième rapport sur la biodiversité en Algérie*. 206 p. <https://www.cbd.int/doc/nr/nr-06/dz-nr-06-fr.pdf>

Ministère de l'Environnement et des Énergies Renouvelables (MEER). (2022). Projet Protection de l'Environnement et de la Biodiversité du Littoral Algérien (PEBLA). <https://www.me.gov.dz/telechargement/newsletter-n1-projet-protection-de-lenvironnement-et-de-la-biodiversite-du-littoral-algerien-pebla/>

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (MATE). (2012). Stratégie nationale et plan d'action pour la biodiversité en Algérie. Alger.

Molinier, R., & Picard, J. (1954). Éléments de bionomie marine sur les côtes de Tunisie. *Bulletin de la Station Océanographique de Salammbô*, 48, 1–54

Montefalcone, M. (2009). Ecological value and anthropogenic impacts on the *Posidonia oceanica* meadows. *Marine Pollution Bulletin*, 58(11), 1639–1645. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.06.011>

Ozer, T., Gertman, I., Kress, N., Silverman, J., & Herut, B. (2016). Interannual thermohaline (1979–2014) and nutrient (2002–2014) dynamics in the Levantine surface and intermediate water masses, SE Mediterranean Sea. *Global and Planetary Change*. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.04.001>

Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Clabaut, P., & Pergent, G. (1998). Mapping of *Posidonia oceanica* using aerial photographs and side scan sonar: Application off the Island of Corsica (France). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47, 359–367. <https://doi.org/10.1006/ecss.1998.0361>

Pergent, G., Bazairi, H., Bianchi, C. N., Boudouresque, C. F., Buia, M. C., Clabaut, P., Harmelin-Vivien, M., Mateo, M. A., Montefalcone, M., Morri, C., Orfanidis, S., Pergent-Martini, C., Semroud, R., Serrano, O., & Verlaque, M. (2012). Les herbiers de magnoliophytes marines de Méditerranée. Résilience et contribution à l'atténuation des changements climatiques. IUCN Publ., Gland, Málaga : 1–79.

Pergent, G., Bazairi, H., Bianchi, C. N., Boudouresque, C., Buia, M., & Calvo, S. (2014). Climate change and Mediterranean seagrass meadows: A synopsis for environmental managers. *Mediterranean Marine Science*, 15(2), 462–473.

Pergent, G., Pergent-Martini, C., & Boudouresque, C. F. (1995). Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: Étude et validation. *Bulletin d'Écologie*, 26, 115–123.

Pergent, G., Pergent-Martini, C., Casalta, B., Lopez, Y. R., Mimault, B., Salivas-Decaux, M., & Short, F. (2007). Comparison of three seagrass monitoring systems... RAC/SPA Publications, Tunis, 141–150.

Pergent, G., Romero, J., Pergent-Martini, C., Mateo, M. A., & Boudouresque, C. F. (2015). Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Ecology Progress Series*, 106(1–2), 139–146.

Pergent-Martini, C., Leoni, V., Pasqualini, V., & Pergent, G. (2014). *Posidonia oceanica* meadows: From scientific evidence to management tools. *Mediterranean Marine Science*, 15(1), 176–185. <https://doi.org/10.12681/mms.519>

Pergent-Martini, C., Leoni, V., Pasqualini, V., Ardizzone, G. D., Balestri, E., Bedini, R., ... & Velimirov, B. (2005). Descriptors of *Posidonia oceanica* meadows: Use and application. *Ecological Indicators*, 5(3), 213–230.

Pisano, A., Marullo, S., Artale, V., Falcini, F., Yang, C., Leonelli, F. E., ... & Nardelli, B. B. (2020). New evidence of Mediterranean climate change and variability from Sea Surface Temperature observations. *Remote Sensing*, 12(1), 132. <https://doi.org/10.3390/RS12010132>

Platini, F. (2000). La protection des habitats aux herbiers en Méditerranée. *Rapport PNUE, PAM, CAR/ASP*, 65 p.

Por, F. D. (1978). Lessepsian migrations: The influx of Red Sea biota into the Mediterranean by way of the Suez Canal. Springer Verlag.

Programme des Nations Unies pour l'Environnement - Plan d'Action pour la Méditerranée (PNUE/PAM). (2009). *Plan Bleu : État de l'environnement et du développement en Méditerranée*. Athènes : PNUE/PAM-Plan Bleu.

Puillat, I., Taupier-Letage, I., & Millot, C. (2002). Algerian eddies lifetime can near 3 years. *Journal of Marine Systems*, 31(3–4), 245–259. [https://doi.org/10.1016/S0924-7963\(01\)00066-1](https://doi.org/10.1016/S0924-7963(01)00066-1)

Ramírez, F., Coll, M., Navarro, J., Bustamante, J., & Green, A. J. (2018). Spatial congruence between multiple stressors in the Mediterranean Sea may reduce its resilience to climate impacts. *Scientific Reports*, 8, 14871. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33237-w>

Randone, M., Di Carlo, G., & Costantini, M. (2017). Reviving the economy of the Mediterranean Sea: Actions for a sustainable future. WWF, Rome

Rhouma, A., Hamouda, N., & Bessadok, S. (2017). Assessment of the pH of water and sediments at Ramsar Sites in Gabes city, Tunisia. *Journal of Ecobiotechnology*, 9, 13–17. <https://doi.org/10.25081/jebt.2017.v9.3375>

Rivaró, P., Messa, R., Massolo, S., & Frache, R. (2010). Distributions of carbonate properties along the water column in the Mediterranean Sea: Spatial and temporal variations. *Marine Chemistry*, 121, 236–254. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2010.05.003>

Roberts, C. M., O'Leary, B. C., McCauley, D. J., Cury, P. M., Duarte, C. M., Lubchenco, J. & Castilla, J. C. (2017). Marine reserves can mitigate and promote adaptation to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(24), 6167–6175. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701262114>

Ruiz, J. M., & Romero, J. (2003). Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Pollution Bulletin*, 46(12), 1523–1533.

Ruiz, J. M., Marín, A., & Romero, J. (2015). Seagrass meadows and coastal changes: A case study in the Spanish Mediterranean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 156, 186–197. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.07.017>

Sammari, C., Bradai, M. N., Ben Mustapha, K., & Romdhane, M. S. (2019). État des herbiers à *Posidonia oceanica* en Tunisie et implications pour la conservation. *Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer*, 46, 103–118.

Segura-Noguera, M., Cruzado, A., & Blasco, D. (2016). The biogeochemistry of nutrients, dissolved oxygen and chlorophyll a in the Catalan Sea (NW Mediterranean Sea). *Scientia Marina*, 80(S1), 39–56. <https://doi.org/10.3989/scimar.04309.20A>

Semroud, R. (1993). Contribution à la connaissance de l'écosystème à *Posidonia oceanica* (L.) Delile dans la région d'Alger (Algérie) : étude de quelques compartiments [Thèse de doctorat, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene].

Seridi, A. (2017). Élaboration d'une étude préliminaire pour le classement d'une aire marine protégée en Méditerranée : Cas du Cap de Garde, Wilaya d'Annaba (Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba, Algérie).

Sghaier, Y. R., Zakhama-Sraieb, R., & Charfi-Cheikhrouha, F. (2006). Statuts of *Posidonia oceanica* meadows along the eastern coast of Tunisia. *Biologia Marina Mediterranea*, 13(4), 85–111.

Stipcich, P., Apostolaki, E. T., Chartosia, N., Efthymiadis, P. T., Jimenez, C. E., La Manna, G., Pansini, A., Principato, E., Resaikos, V., & Ceccherelli, G. (2022). Assessment of *Posidonia oceanica* traits along a temperature gradient in the Mediterranean Sea shows impacts of marine warming and heat waves. *Frontiers in Marine Science*, 9, 895354. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.895354>

Stock, A., Crowder, L. B., Halpern, B. S., & Micheli, F. (2018). Uncertainty analysis and robust areas of high and low modeled human impact on the global oceans. *Conservation Biology*, 32(6), 1368–1379. <https://doi.org/10.1111/cobi.13141>

Telesca, L., Belluscio, A., Criscoli, A., Ardizzone, G., Apostolaki, E. T., Fraschetti, S. & Danovaro, R. (2015). Seagrass meadows (*Posidonia oceanica*) distribution and trajectories of change. *Scientific Reports*, 5(1), 1–14.

Templado, J. (2014). Future trends of Mediterranean biodiversity. In N. S. The Mediterranean Sea: Its History and Present Challenges (pp. 479–498). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-6704-1\\_28](https://doi.org/10.1007/978-94-007-6704-1_28)

Thelin, I., & Bedhomme, A. L. (1983). Biomasse des épiphytes des feuilles de *Posidonia oceanica* dans un herbier superficiel. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 28(3), 125–126.

Touratier, F., & Goyet, C. (2011). Impact of the Eastern Mediterranean transient on the distribution of anthropogenic CO<sub>2</sub> and first estimate of acidification for the Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research Part I*, 58, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2010.10.002>

Trombetta, T. (2019). Initiation des efflorescences phytoplanctoniques en zone côtière : le rôle de la température et des interactions biologiques. *Sciences agricoles*. Université Montpellier, 2019. Français. ffnnt : 2019MONTG088ff. fftel-02868643 .

UNEP. (2005). Proposals for inclusion in the SPAMI list. *Meeting of MAP Focal Points*, Athens, 21–24 September. UNEP(DEC)/MED WG.270/15.

[http://195.97.36.231/dbases/acrobatfiles05WG270\\_15\\_Eng.pdf](http://195.97.36.231/dbases/acrobatfiles05WG270_15_Eng.pdf)

Union européenne. (1992). Directive 92/43/CEE du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages. *Journal officiel des Communautés européennes*, L 206, 7–50.

Vargas-Yáñez, M., García-Martínez, M. C., Moya, F., Balbín, R., López-Jurado, J. L., Serra, M., Zunino, P., Serra, M., Pascual, J., & Salat, J. (2017). Updating temperature and salinity mean values and trends in the Western Mediterranean: The RADMED project. *Progress in Oceanography*, 157, 27–46. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.09.004>

Verdura, J., Linares, C., Ballesteros, E., Coma, R., Uriz, M. J., Bensoussan, N., & Cebrian, E. (2019). Biodiversity loss in a Mediterranean ecosystem due to an extreme warming event unveils the role of an engineering gorgonian species. *Scientific Reports*, 9. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41929-0>

Zunino, S., Canu, D. M., Bandelj, V., & Solidoro, C. (2017). Effects of ocean acidification on benthic organisms in the Mediterranean Sea under realistic climatic scenarios: A meta-analysis. *Regional Studies in Marine Science*, 10, 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2016.12.011>

Zunino, S., Canu, D. M., Zupo, V., & Solidoro, C. (2019). Direct and indirect impacts of marine acidification on the ecosystem services provided by coralligenous reefs and seagrass systems. *Global Ecology and Conservation*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00625>