



**Faculté des Sciences
De l'Université de Montpellier**

**Diplôme d'Université (DU)
« Restauration écologique des petits fonds marins côtiers »
Année 2024**

**Etude de restauration de la fonctionnalité de
nurserie dans le port Marina Cap Monastir
(Tunisie) : état initial et solutions proposées**



Préparer Par : Ahmed GHEDIRA

Sous la Supervision de : MR. Gilles LECAILLON

Dédicaces

Le dévouement et le travail acharné dans ma carrière sont également le résultat de l'association **Notre Grand Bleu** et les personnes clés qui m'ont toujours soutenu.

Du plus profond de mon cœur et avec l'intensité de mes émotions, je dédie ce travail.

À ma chère femme Salma et mes enfants Yahia, Issa et Enir

Aucune dédicace ne pourrait témoigner ma gratitude pour votre sacrifice, votre patience et d'exprimer mon profond amour. Vous avez toujours cru en moi et su me redonner confiance lorsque la motivation n'était plus au rendez-vous, même dans les périodes les plus sombres. Je vous aime !!

À l'association Notre Grand Bleu, à son Staff et à ses membres,

À L'asile le plus sûr, mes parents

A la famille des conservateurs de la vie marine en Méditerranée

Pour ceux qui m'aiment, Pour ceux qui me détestent

Remerciement

J'exprime mes sincères prières au Tout-Puissant, dont les bénédictions et la grâce m'ont aidé à réussir tout au long de mon parcours.

Je tiens à remercier avec la plus grande gratitude mon encadrant **Mr. Gilles LECAILLON** qui m'a fait l'honneur d'accepter de m'encadrer dans ce mémoire, de m'avoir orienté, aidé et conseillé. Votre modestie, votre bienveillance et votre disponibilité permanente resteront gravées dans mon esprit.

J'adresse mes chaleureux remerciements aux membres de jury **Mm Julie Deter, Mr Pierre BOISSERY et Mr. Gilles LECAILLON** pour l'honneur que vous m'accordez en acceptant de juger ce mémoire du diplôme universitaire et pour le temps que vous avez consacré pour la lecture de ce document.

Comme dit le dicton : « Les plus grandes leçons ne sont pas tirées d'un livre mais des enseignants »

A nos chers enseignants, en particulier **Mr Philippe LENFANT** ; je tiens à vous dire que vous avez été des excellents professeurs. Nous vous remercions d'avoir partagé vos connaissances avec nous, d'avoir toujours été justes et généreux dans votre éducation. Nous vous sommes très reconnaissants d'avoir enrichi nos connaissances et de nous avoir guidés durant le **diplôme universitaire « Restauration écologique des petits fonds marins côtiers 2024 »** de l'université de Montpellier

Sommaire

Introduction Générale

1. Cycle de vie et Importance de l'habitat pour les poissons marins côtiers	2
2. Impact de l'urbanisation du littoral sur les petits fonds côtiers	3
3. Pression des ports dans la baie de Monastir	5
3.1. Baie de Monastir	5
3.2. Les ports de pêche et de plaisance	6
4. Notions de restauration des zones portuaires	8

Etude de Cas

1. Description de la zone d'étude	13
2. Localisation du port	13
3. Etat initial du port de plaisance Cap Marina Monastir	14
3.1. Identification et gestion des pressions	14
3.2. Evaluation de l'état du milieu	15
4. Etat zéro des nurseries (zone naturelle et zone portuaire)	17
4.1. Choix de la zone de référence et des sites portuaires	17

Résultats et Discussions

1. Station 1 : zone naturelle	20
2. Station 2 : l'intérieure de la marina	21
3. Pré-diagnostic pour l'équipement de la Marina Cap Monastir	23
4. Identification des différentes zones selon les fonctionnalités et les installations (eau pluviale, eau douce et dimension des bateau)	24
4.1. Les stations qui ont un potentiel d'être équipé par un dispositif de restauration	26
5. Proposition finale d'équipements	28
5.1. Description des Biohut utilisés dans cette solution	30

Conclusion et Perspectives

Références Bibliographiques

Liste des figures

Figure 1: Cycle de vie des poissons côtiers. Modifié d'après Pastor (2008)	2
Figure 2: Effet des activités humaines sur la biodiversité marine (Groom et al., 2006)	4
Figure 3: Carte géographique et bathymétrique de la Baie de Monastir (Ahmed GHEDIRA., 2022).....	5
Figure 4: carte des situations des ports dans la côte du gouvernorat de Monastir	6
Figure 5: Les trois types de réponses/actions possibles suite à une dégradation d'un ou plusieurs écosystèmes, les niveaux de gestion nécessaire et les objectifs correspondants	8
Figure 6: Quelques dispositifs proposés par les entreprises visent à restaurer la fonction nurserie à l'intérieur des ports	9
Figure 7: Description des différents niveaux de maturité technologique (TRL) appliqués à la restauration écologique des petits fonds côtiers (Gudefin et al., 2022)	11
Figure 8: zone substrat et zone de protection d'un Biohut Ponton d'Ecocean.....	12
Figure 9: port de plaisance Cap Marina Monastir	13
Figure 10: vue réelle du port et de l'avant-port marina cap Monastir	14
Figure 11: photo de la réunion avec les gestionnaires de la marina cap Monastir de la droite au gauche : Sahar CHEBAANE (comité scientifique Notre grand bleu Doctorant ; Faculté des Sciences, Université de Lisbonne) ; Ahmed Ghedira (étudiant université Montpellier)	17
Figure 12: zone de référence et zones portuaire de prospection et d'inventaire des juvéniles et des post-larves	18
Figure 13: photo des juvéniles dans les zone naturelle, site de référence	20
Figure 14: Photo des juvénile à l'intérieure du port marina dans les zones portuaires de 1 à 6.	23
Figure 15: : Les différentes zones d'équipement et aménagement du port marina Monastir	23
Figure 16: zonage du port de la marina selon les fonctionnements et les installations de service portuaire :	25
Figure 17: les stations dans le port de la marina à potentiel d'équipement par des Biohuts	26
Figure 18: Plan d'installation des Biohut.....	29
Figure 19: longueur du port de la marina Cap	29
Figure 20: Biohut quai Ecocean	30
Figure 21: Biohut ponton Ecocean	30
Figure 22: Biohut Kelp Ecocean	31
Figure 23: Biohut Digue Ecocean	31

Liste des tableaux

Tableau 1: Type, Position Géographique, Date D'exploitation, Nombre d'embarcations fonctionnelles, Nombre de pêcheurs et surface du bassin des 6 ports étudiés (Chebaane et al., 2019).....	7
Tableau 2: Tableau comparatif des solutions et de leur évaluation : récapitulatif des caractéristiques des différentes solutions de nurseries portuaires, l'importance des opérations de restauration réalisées, le suivi, et l'évaluation de l'efficacité écologique.	10
Tableau 3: Représentation des niveaux de maturité ou TRL des solutions restauration écologique des nurseries portuaires.....	11
Tableau 4 : Liste des certifications pour le port de Monastir	14
Tableau 5: Evaluation de l'état du milieu : Contraintes techniques, physiques et écologiques du port marina cap Monastir	15
Tableau 6: liste et abondance des espèces identifiées dans la station 1 zone naturelle	20
Tableau 7: Liste et abondance des espèces identifiées dans la station 1 et 2 de la zone portuaire	21
Tableau 8: Liste et abondance des espèces identifiées dans la station 3 et 4 de la zone portuaire	22
Tableau 9: liste et abondance des espèces identifiées dans la station 5 et 6 de la zone portuaire.....	22
Tableau 10 : Avantage, inconvénient et type de Biohut proposé pour chaque station	27

Résumé

Les poissons, représentant la majorité des vertébrés terrestres, sont essentiels à la biodiversité et offrent des avantages économiques et culturels. Cependant, ils sont menacés par la surpêche, la pollution et la destruction de leurs habitats, notamment par l'urbanisation des littoraux et les infrastructures portuaires.

Le cycle de vie des poissons côtiers, avec ses phases pélagique et benthique, dépend fortement des zones de nurseries pour la croissance et la survie des juvéniles, influençant ainsi le recrutement des espèces et la viabilité des stocks. La préservation de ces habitats côtiers est donc cruciale pour maintenir les populations de poissons marins et garantir leur reproduction et leur survie.

L'urbanisation croissante des littoraux entraîne une dégradation majeure des habitats côtiers, notamment des zones de nurseries pour les poissons. Les infrastructures portuaires, en remplaçant les habitats naturels par des structures artificielles, réduisent la complexité et la diversité des écosystèmes, ce qui diminue la biodiversité marine. De plus, la pollution et l'introduction d'espèces non indigènes aggravent ces effets néfastes, contribuant ainsi à la perte d'habitats et à l'extinction des espèces locales.

Malgré leur caractère artificiel, les infrastructures portuaires comme les marinas, les jetées et les pontons peuvent cependant et dans certaines conditions jouer un rôle écologique important. Des approches d'éco-ingénierie, telles que le déploiement de micro habitats artificiels, sont utilisées pour restaurer la biodiversité de ces zones. Des entreprises spécialisées telles qu'Ecocean, Suez, Seaboost, P2A Développement et Architeuthis proposent différentes solutions pour restaurer la fonction de nurserie dans les ports.

Les solutions d'éco-ingénierie, et précisément les Biohut® de la société Ecocean, ont été choisis dans cette étude en raison de leur niveau de maturité élevé (TRL =9), afin de restaurer les habitats dégradés de la Marina Cap Monastir. De plus, la simplicité de ces produits rend leur maintenance plus facile et moins coûteuse pour les gestionnaires des ports.

L'équipement du port Marina Cap Monastir pour en restaurer la fonctionnalité de nurserie a suivi une démarche structurée présentée dans cette étude, identifiant trois zones : une zone verte prioritaire pour l'installation des structures artificielles, une zone rouge à éviter pour les nurseries, et une zone jaune intermédiaire où l'installation est envisageable mais avec certaines précautions. Basée sur ce zonage, une proposition comprenant 41 modules Biohut répartis en 5 Biohut Quai, 20 Biohut Pontons, 12 Biohut Digue et 4 Biohut Kelp a été proposée. Cette proposition dépasse largement le seuil minimum requis, couvrant ainsi les 50 mètres de nurseries détruites.

Introduction générale

Les poissons contribuent très largement à la biodiversité mondiale. En effet, ce groupe représente actuellement plus de la moitié des espèces de vertébrés vivants sur Terre (Eschmeyer *et al.*, 2010). De plus, étant présents à de nombreux niveaux des réseaux trophiques, les poissons jouent un rôle régulateur essentiel vis-à-vis des autres espèces, contribuant ainsi indirectement au maintien de la biodiversité totale des milieux aquatiques.

Par ailleurs, du fait de leurs capacités migratoires, les poissons contribuent à la connectivité entre les écosystèmes (Holmlund & Hammer 1999). Le rôle de ces espèces dans le fonctionnement des écosystèmes marins est donc primordial.

De tous temps, nos sociétés ont tiré de nombreux bénéfices directs et indirects des poissons (Holmlund & Hammer 1999, Sumaila *et al.*, 2011). Aujourd'hui, ils représentent non seulement 17 % des apports en protéines animales pour la population mondiale, mais rendent également de nombreux services culturels et récréatifs à forte plus-value économique, notamment ceux associés à la pêche de loisir, à la plongée (Holmlund & Hammer 1999).

Malgré cette importance écologique et économique, les poissons marins sont fortement menacés par les activités humaines, en particulier par la surpêche, la pollution et la destruction de leurs habitats (Jackson *et al.*, 2001).

La transformation des zones côtières par l'urbanisation et le développement portuaire a entraîné une dégradation significative des habitats marins côtiers et une diminution de la biodiversité. Les infrastructures portuaires, les débarcadères, les remblais et les dragages ont modifié les paysages côtiers et grandement perturbé les processus naturels essentiels à la survie des espèces marines. En réponse à ces perturbations, les nurseries artificielles, émergent comme des solutions innovantes pour réduire les impacts négatifs de l'activité humaine sur ces écosystèmes marins côtiers (M. Mercader *et al.*, 2017)

Cette approche de restauration active est particulièrement efficace dans les zones fortement urbanisées, où la pression humaine sur les écosystèmes côtiers est élevée et où les habitats naturels sont souvent fragmentés. En intégrant des nurseries artificielles efficaces dans des projets de développement côtier et portuaire en tant que mesures compensatoires ou d'accompagnements, ces solutions permettent de soutenir la production de poissons en protégeant les stades vitaux les plus vulnérables tout en favorisant le développement d'une biodiversité essentielle à leur alimentation.

Etude
Bibliographique

1. Cycle de vie et Importance de l'habitat pour les poissons marins côtiers

La vie des poissons côtiers se déroule en deux phases distinctes, pélagique et benthique. La phase pélagique commence par la dispersion des œufs et des larves, transportés par les courants jusqu'aux zones côtières où ils se transforment en post-larves actives capables de nager vers les petits fonds côtiers. Par la suite, ils doivent s'acclimater à un environnement benthique, caractérisé par un substrat complexe et varié et surtout à la présence de prédateurs (Planes & Lecaillon, 2001).

Après cette transition, les post-larves nouvellement installées deviennent des juvéniles ou des "jeunes de l'année" (Young Of the Year), qui cherchent refuge dans des zones de nurserie où nourriture et abri sont abondants (Lenfant *et al.*, 2015). Leur croissance les mène en quelques mois à une taille qualifiée de "refuge", qui réduit considérablement leur taux de mortalité due à la prédation, définie par une taille supérieure à celle des ouvertures de la bouche des prédateurs (Lenfant *et al.*, 2015).

La période de transition vers l'habitat adulte figure1, appelée installation, est cruciale pour la survie et la croissance des juvéniles, nécessitant la recherche d'un habitat optimal pour minimiser les risques liés à la prédation tout en optimisant les dépenses énergétiques (Gibson *et al.*, 2002). Une fois intégrés à l'habitat des adultes, les juvéniles passent à la phase de recrutement jusqu'à atteindre la maturité sexuelle et la phase de reproduction (Lenfant *et al.*, 2015).

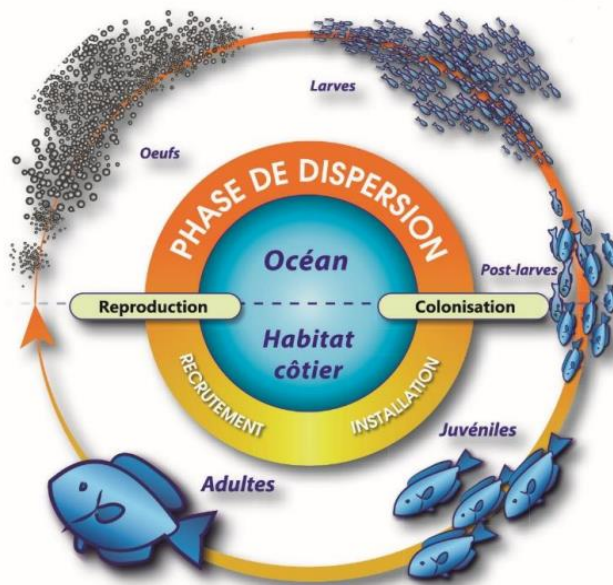


Figure 1: Cycle de vie des poissons côtiers. Modifié d'après Pastor (2008)

La réussite de chaque étape du cycle de vie, y compris la reproduction, la dispersion, la colonisation, l'installation et le recrutement, dépend étroitement de la disponibilité et de la qualité des habitats essentiels (Doherty, 1991).

Les zones de nurseries jouent un rôle crucial dans le maintien des populations de poissons marins côtiers démersaux. Définies comme des habitats qui favorisent la croissance et la survie des juvéniles mieux que d'autres habitats, les zones de nurseries sont essentielles pour le recrutement des espèces (Beck *et al.*, 2001). Ces zones sont souvent identifiées dans divers écosystèmes côtiers tels que les estuaires, les lagunes, les récifs coralliens, les mangroves, les herbiers de posidonie et bien sûr les petits fonds côtiers (Vinagre *et al.*, 2012). La dégradation de ces zones de nurseries impacte directement le recrutement et donc la viabilité des stocks de poissons juvéniles (Gibson, 1994 ; Peterson *et al.*, 2000).

En effet, chaque écosystème est un réseau complexe où les organismes vivants interagissent étroitement avec leur environnement. Les poissons côtiers necto-benthiques, dont une partie du cycle de vie dépend des substrats tels que les fonds marins meubles ou rocheux, soulignent l'importance cruciale des habitats littoraux dans les différentes phases de développement et de survie (Lenfant *et al.*, 2015).

Ainsi, la préservation des habitats côtiers est cruciale pour maintenir les populations de poissons marins (Able *et al.*, 1999 ; Gibson, 1994).

2. Impact de l'urbanisation du littoral sur les petits fonds côtiers

La biodiversité marine est fortement marquée par l'empreinte humaine. La destruction de la biodiversité marine est le résultat de la croissance démographique et des activités humaines dans une expansion générale de l'économie (Bouhlef *et al.*, 2022), avec une demande croissante de ressources renouvelables (pêche) et non renouvelables (minéraux, énergie) (Figure 2).

L'urbanisation incontrôlée et intensive, la surexploitation des ressources, la prolifération des espèces exotiques, le transport maritime et la pollution ont directement entraîné la dégradation de la biodiversité, la raréfaction des espèces les plus sensibles et, surtout, la menace d'importants habitats côtiers, dont certains forment des habitats côtiers remarquables (Groom *et al.*, 2006).

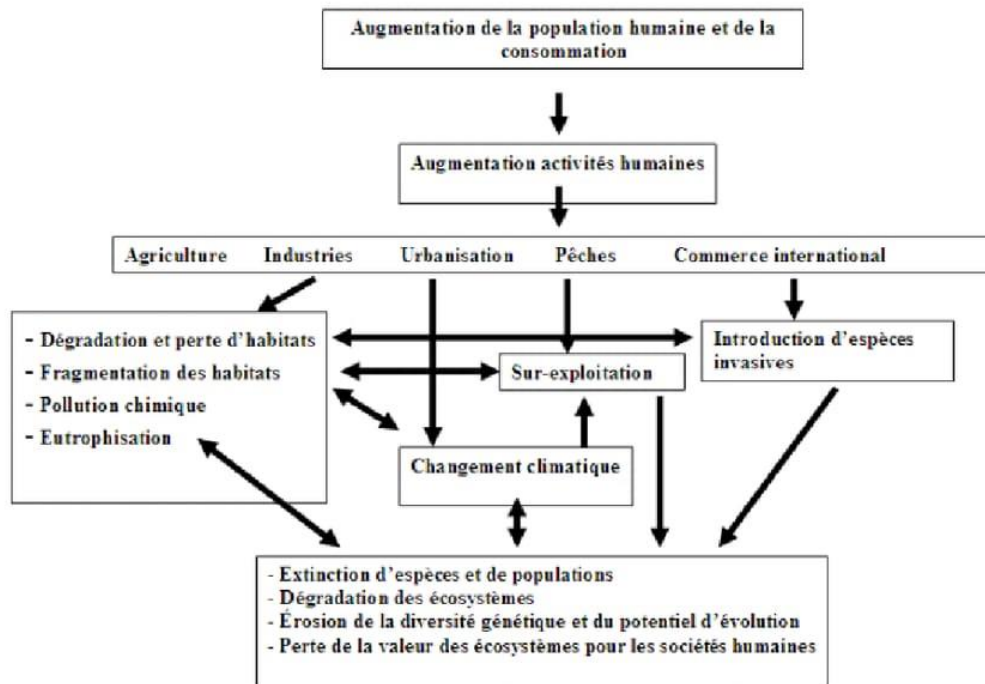


Figure 2: Effet des activités humaines sur la biodiversité marine (Groom *et al.*, 2006)

Les écosystèmes côtiers sont donc fortement impactés par les infrastructures portuaires. Selon (Bouchoucha *et al.*, 2016), lors de leur construction, les fonds côtiers naturels sont détruits afin d'être remplacés par des structures artificielles dans le but uniquement de préserver les biens et les gens.

En majorité, ces infrastructures portuaires sont beaucoup moins complexes et variées que les habitats naturels qu'elles substituent. Plusieurs recherches ont prouvé que cette diminution de la complexité et de la diversité est à l'origine de la baisse de la biodiversité sur ces ouvrages. En outre, la création d'un port entraîne la création de zones isolées et une modification importante de la topographie sous-marine locale, deux éléments qui ont un impact considérable sur la biodiversité marine (Bouchoucha *et al.*,2016).

De plus, en tant que carrefours internationaux pour le trafic maritime, les ports constituent des points d'entrées privilégiés pour les espèces non indigènes via les eaux de ballast (Ben Souissi, 2015). Contrairement aux habitats naturels, les infrastructures portuaires sont souvent peu propices à la recolonisation par les espèces indigènes, ce qui en fait des zones favorables pour les espèces non indigènes, perturbant davantage l'équilibre écologique.

De ces faits, les activités portuaires entraînent une perte significative de fonctions écologiques dans et autour des ports, contribuant à la perte d'habitat et à l'extinction des espèces. Il peut s'agir d'un des plus grands impacts à l'échelle locale et régionale (Lotze *et al.*, 2006).

3. Pression des ports dans la baie de Monastir

3.1. Baie de Monastir

La Baie de Monastir appartient à la partie centrale de la côte Est du littoral tunisien, avec une surface de 70 Km², qui est située entre les latitudes 35°47'N et 35°37'N et entre les longitudes 10°45'E et 11°45'E. Elle est virtuellement au Nord par un escarpement rocheux de structure plissée, d'une altitude ne dépassant pas 17 m dit Cap Monastir, et fermée au Sud par le haut fond de Téboudba qui se prolonge jusqu'aux îles Kuriat (APAL, 2015). La Baie de Monastir s'étale sur 5 délégations abritant chacune un port de pêche (Bekalta – Téboudba – Sayada – Ksibet El Madiouni et Monastir) et port de plaisance (Cap Marina), qui s'étendent sur 64 km, de l'Oued Hamdoun à Bekalta. Selon une étude réalisée par le PNUE/PAM, CAR/ASP en 2014, la Baie se distingue par sa faible bathymétrie où la profondeur n'excède pas les 40 m (Figure 3).

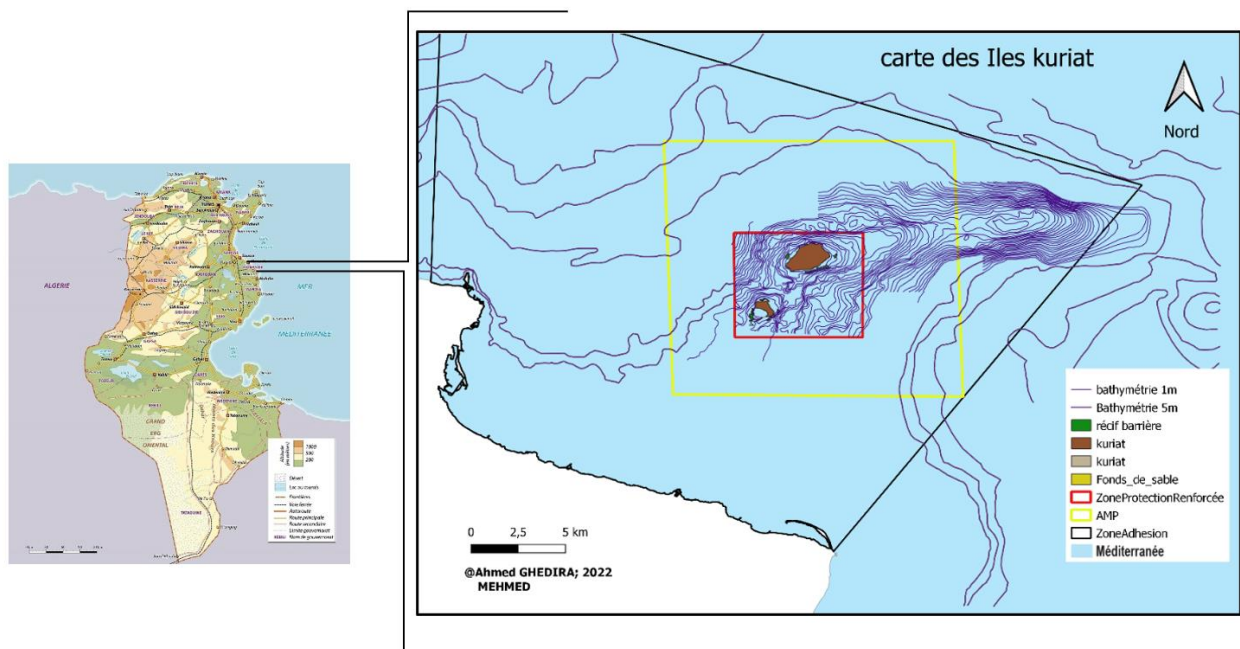


Figure 3: Carte géographique et bathymétrique de la Baie de Monastir (Ahmed GHEDIRA., 2022)

Parmi les zones côtières tunisiennes menacées, on trouve la Baie de Monastir qui est située en face d'une zone qui connaît une urbanisation accrue avec le développement économique du secteur industriel. Elle est soumise à une évolution permanente induite par des facteurs naturels d'une part et par l'influence des activités anthropiques d'autre part. La dégradation de la frange littorale serait principalement en relation avec les fortes accumulations de la matière organique dans un milieu à faible hydrodynamisme et le résultat de phénomènes naturels et anthropiques.

3.2. Les ports de pêche et de plaisance

Cinq ports de pêche et un port de plaisance caractérisent la Baie de Monastir (Figure 4).

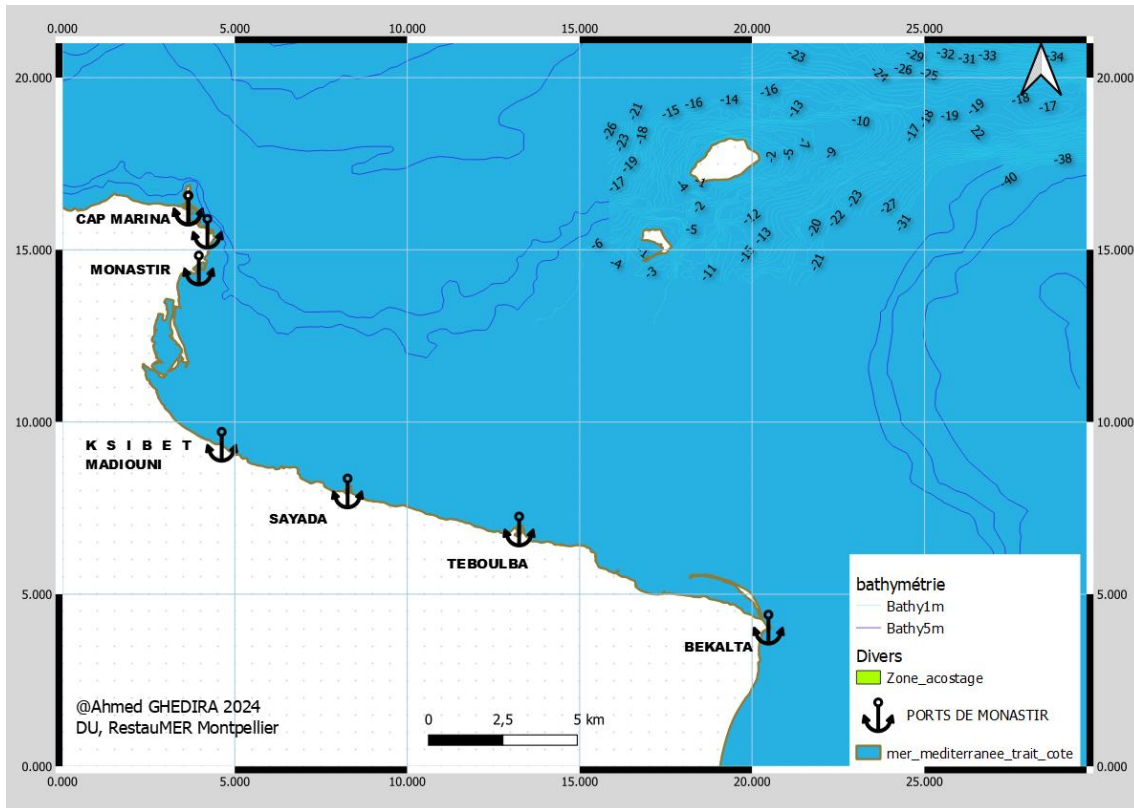


Figure 4: carte des situations des ports dans la côte du gouvernorat de Monastir

- Ports de pêche : Bekalta, Teboulba, Sayeda, Ksibet El Madiouni et Stah Jabeur (Monastir)

- Port de plaisance : Cap Marina

Tableau 1: Type, Position Géographique, Date D'exploitation, Nombre d'embarcations fonctionnelles, Nombre de pêcheurs et surface du bassin des 6 ports étudiés (Chebaane *et al.*, 2019)

	Port de pêche Bekalta	Port de pêche Teboulba	Port de pêche Sayada	Port de pêche Ksibet El Mediouni	Port de pêche Monastir	Port de plaisance Cap Marina
Date D'exploitation	1986	1970 avec extension en 2003	1965 avec extension en 2003	1996	1988	—
Position Géographique	35° 30' Nord et 11° 10' Est	35° 40' Nord et 10° 56' Est	35° 42' Nord et 10° 49' Est	35° 41' Nord et 10° 52' Est	35° 46' Nord et 10° 50' Est	35° 46'7'' Nord et 10° 50'1'' Est
Type	côtier	Hauturier	côtier	Site abris	Port Hauturier	Port d'escale, de passage, d'hivernage et de régates
Nombre d'embarcation fonctionnelle	33 : avec moteur 16 : sans moteur	218 : avec moteur 139 : sans moteur 66 : les lamparos 7 : les chalutiers 18 : les thoniers	135 : avec moteur 55 : sans moteur 14 : les lamparos	20 : avec moteur 23 : sans moteur	178 : avec moteur 48 : sans moteur 1 : les chalutiers	400 bateaux (2007)
Nombre de pêcheur (2016)	161	2440	847	115	227	—
surface du bassin	2 ha	8,5 ha	4 ha	2 ha	8 ha	4 ha

Ces ports présentent plusieurs formes de pressions sur l'écosystème marin qui sont liées aux :

- * Les accostages et amarrages nombreux et non contrôlés des embarcations contribuant à la destruction des herbiers, ainsi que les pseudo-appontements qui constituent des atteintes au littoral car ils cassent les courants et aident à la formation de zones mortes.

- * Les rejets de l'activité de pêche issus du nettoyage et de la maintenance des engins qui forment des accumulations parfois assez importantes ou même les déchets d'engins abimés retrouvés immergés à diverses profondeurs.

- * La réparation et la maintenance (vidange et nettoyage des réservoirs de gasoil) en pleine mer puisque certains pêcheurs n'ayant pas les moyens de faire remonter leurs embarcations à sec ce qui génère des nappes d'huile à la surface de l'eau rendant certaines zones impropres à l'activité de pêche (Sallemi, 2017).

- * Aussi, les ports sont présentés comme des zones à risques qui agissent en tant que nœuds et points de croisement, contribuant à la dispersion accrue des espèces non indigènes le long de la Baie de Monastir étudiés (Chebaane *et al.*, 2019).

Face aux défis environnementaux et à l'absence de gestion efficace dans les ports de pêche, il est souvent difficile d'y entreprendre des actions de restauration écologique. Les ports de pêche sont confrontés à des problèmes de pollution et à un manque de stratégies de gestion environnementale. Par conséquent, il est plus judicieux de se concentrer sur le port de plaisance la marina, qui est moins sale et bénéficie d'une démarche environnementale plus proactive et d'une volonté des gestionnaires d'améliorer la situation environnementale du port.

4. Notions de restauration des zones portuaires

Les actions de restauration et de réhabilitation écologiques ne peuvent s'appliquer que si l'écosystème n'a pas atteint son seuil d'irréversibilité. Deux possibilités d'actions existent :

La restauration écologique va considérer l'écosystème dans son intégralité. L'objectif sera de réparer toutes les composantes du milieu, toutes les fonctions et tous les services rendus par l'écosystème.

La réhabilitation s'appuie elle aussi sur un écosystème de référence figure 5, mais où seulement un certain nombre d'attributs et de services sont visés. Cela peut être une ou des fonctions que l'on souhaite retrouver, un service particulier ou encore l'habitat de certaines espèces et le renforcement de leurs populations.

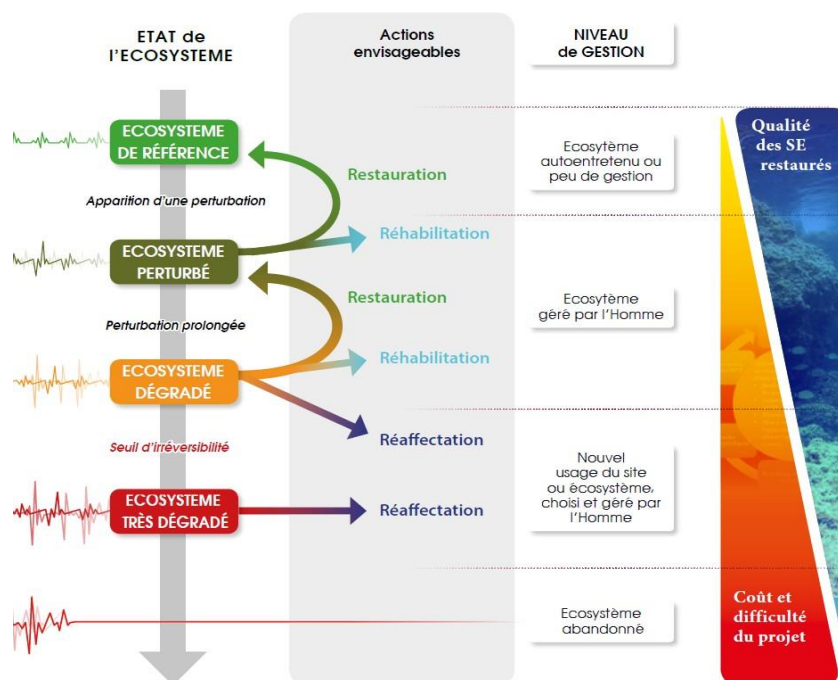
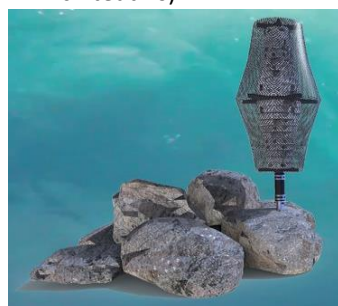
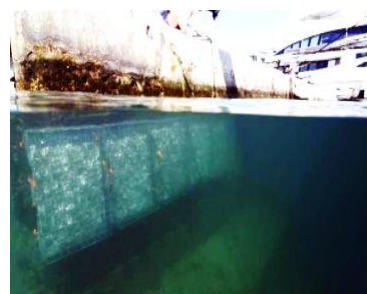


Figure 5: Les trois types de réponses/actions possibles suite à une dégradation d'un ou plusieurs écosystèmes, les niveaux de gestion nécessaires et les objectifs correspondants

La restauration ou la réhabilitation sont deux politiques qui ne peuvent être efficaces et efficaces qu'après la mise en place d'une politique de dépollution et de non-dégradation. De plus, il est indispensable d'éliminer le maximum des pressions et de réduire ou stopper les pollutions dans le site à restaurer. Le schéma ci-dessus illustre les actions envisageables selon l'état de l'écosystème.

Malgré leur caractère très artificiel, les marinas, les jetées et/ou les pontons peuvent néanmoins remplir des fonctions écologiques utiles (Mercader *et al.*, 2017). Dans ce contexte, une diversité d'approches d'éco-ingénierie ont été testées pour améliorer la biodiversité de ces zones portuaires (Bouchoucha *et al.*, 2016).

Par conséquent, la nécessité de réduire l'impact de ces infrastructures et même d'en améliorer la valeur écologique devient urgente alors que leur nombre est prévu d'augmenter dans le monde entier. Ce qui est sûr, c'est qu'il ne diminuera pas ! Récemment, le déploiement de micro habitats artificiels figure 6, compensant le rôle des nurseries artificielles dans les marinas et les ports (Bouchoucha *et al.*, 2016 ; Mercader *et al.*, 2017) en tant qu'action de restauration écologique visant à restaurer la fonction de nurserie grâce à la complexification de l'habitat, a révélé que de tels habitats artificiels améliorent sensiblement la diversité et la densité des poissons juvéniles en leur fournissant un abri contre les prédateurs, renforçant ainsi la valeur de la marina en tant que nurserie.



Biohut® Ponton d'Ecocean

Totem© d'Architeuthis© Architeuthis)

Module Oursin deSeaBoost ©SeaBoost)

Figure 6: Quelques dispositifs proposés par les entreprises visent à restaurer la fonction nurserie à l'intérieur des ports

La comparaison des différentes solutions proposées par les entreprises à différents stades de développement ou de maturité qui vise à restaurer la fonction nurserie à l'intérieur des ports, est illustrée par le tableau 2 ci-dessous. Les solutions qui ont été étudiées sont celles des sociétés Ecocean, Suez, Seaboost, P2A Développement et Architeuthis (Jeglot., 2023).

Tableau 2: Tableau comparatif des solutions et de leur évaluation : récapitulatif des caractéristiques des différentes solutions de nurseries portuaires, l'importance des opérations de restauration réalisées, le suivi, et l'évaluation de l'efficacité écologique.

Nom Fournisseur	Fonctions	Matériaux	Projets	Suivi	Efficacité écologique	Partage évaluation
Biohut Quai Ecocean	Nurserie, habitat	Acier Crupal® Coquilles huîtres	++++	Standardisé et base de données commune	Démontrée	Publications scientifiques + Thèses de recherche
Biohut Kelp Ecocean	Nurserie, habitat	Platine acier + bois + fibre naturelle	++	Non standardisé	Démontrée	Thèse de recherche
Biohut Digue ECOCEAN	Nurserie, habitat, corridor	Acier + tiges bois & acier + coquilles d'huîtres	+	Non standardisé	Evaluation à renforcer	Rapport du projet PIA1 NUAMCES
Roselière Seaboost	Nurserie, habitat, corridor	Plastique Polypropylène (PP)	+++	Non standardisé	Evaluation à renforcer	Communications + Rapports non partagés
Oursin Seaboost	Nurserie	Plastique Polypropylène (PP)	+++	Non standardisé	Evaluation à renforcer	Communications + Rapports non partagés
ReFISH Suez Consulting	Nurserie, habitat	Plastique biosourcé	++	Non standardisé	Evaluation à renforcer	Communications + Rapports non partagés
Sargass P2A Développement	Nurserie	Polymère ou fibres végétales (sans détails)	+	Non standardisé	Evaluation à renforcer	Pas de partage connu
Protec P2A Développement	Nurserie, habitat, corridor	Acier	+	Non standardisé	Evaluation à renforcer	Pas de partage connu
Totem Architeuthis	Nurserie	Grille plastique souple	+	Non standardisé	Non démontrée	Pas de partage
Tinesk Architeuthis	Nurserie	Grille plastique souple	+	Non standardisé	Non démontrée	Pas de partage

Cette étude a été basée sur l'échelle des TRL, ou Technology Readiness Level. Elle mesure le niveau de maturité d'une technologie spécifique, allant de la recherche fondamentale (niveau TRL 1) à la commercialisation complète (niveau TRL 9). Voici une description brève de chaque niveau figure 7 (Gudefin *et al.*, 2022) :

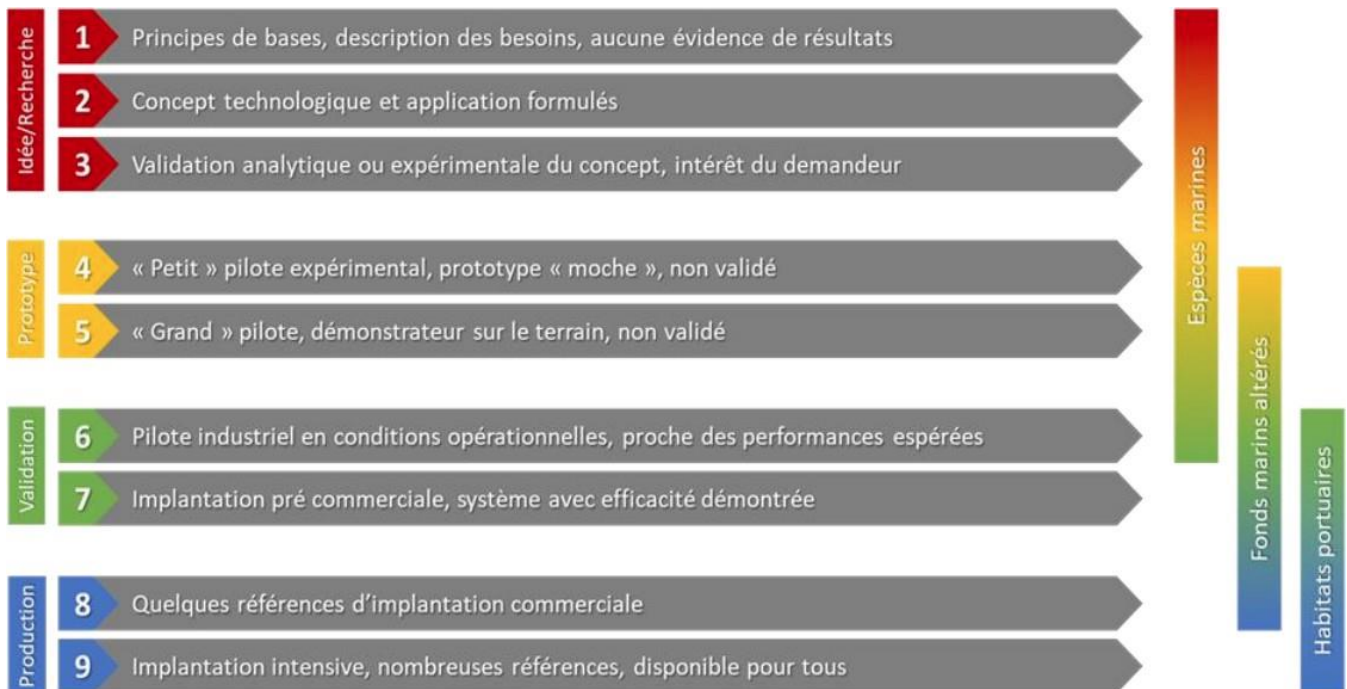


Figure 7: Description des différents niveaux de maturité technologique (TRL) appliqués à la restauration écologique des petits fonds côtiers (Gudefin *et al.*, 2022)

Les solutions de réhabilitation et de restauration des zones de nurserie dans les ports présentaient des niveaux de maturité variables comme l'illustre le **tableau 3**.

Tableau 3: Représentation des niveaux de maturité ou TRL des solutions restauration écologique des nurseries portuaires

Solution	TRL									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Biohut® Quai et Ponton d'Ecocean										9
Biohut® Kelp d'Ecocean								8		
Biohut® Digue d'Ecocean								8		
Roselière® de SeaBoost							7	8		
Oursin® de SeaBoost							7	8		
ReFISH de Suez Consulting							7	8		
Sargass de P2A Développement				4	5					
Protec de P2A Développement				4	5					
Totem© d'Architeuthis				4						
Tipesk© d'Architeuthis				4						

Aux vues de cette étude comparative, les solutions Biohut de la société Ecocean se distingue par un niveau de maturité plus développé par rapport aux autres solution réalisées par d'autre entreprise. D'autre part, la simplicité de ces produits rend plus faciles et moins couteuse leur maintenance pour les gestionnaires des ports. Ce sont donc ces solutions qui ont été choisie pour rétablir les fonctionnalités de nurseries dans la Marina Cap Monastir.

En effet, l'architecture des Biohut d'Ecocean est composée de deux zones principales : une zone avec un substrat naturel et une zone vide de protection (figure 8).

La zone substrat. Suivent de la coquille d'huîtres, ce substrat offre un support pour la fixation des larves et des juvéniles de différentes espèces marines, favorisant leur colonisation, tels que des coquilles d'huîtres...

La zone de protection : entoure la zone substrat et vise à offrir un refuge aux juvéniles en croissance. Cette zone est conçue pour protéger les jeunes poissons des prédateurs et des conditions environnementales défavorables.

Le fonctionnement des Biohut Ecocean repose sur le principe de promouvoir la croissance des juvéniles en fournissant un habitat favorable simultanément qu'une source de nourriture diversifiés et adaptés à ces stades ; les Biohut permettent aux juvéniles de se développer jusqu'à atteindre une taille refuge, où ils sont moins vulnérables. Aussi, à améliorer la biodiversité en offrant un environnement adapté à la vie marine, les Biohut contribuent à augmenter la biodiversité dans les zones portuaires et à restaurer les écosystèmes côtiers. Ce qui contribue à la restauration des écosystèmes côtiers dans les ports.

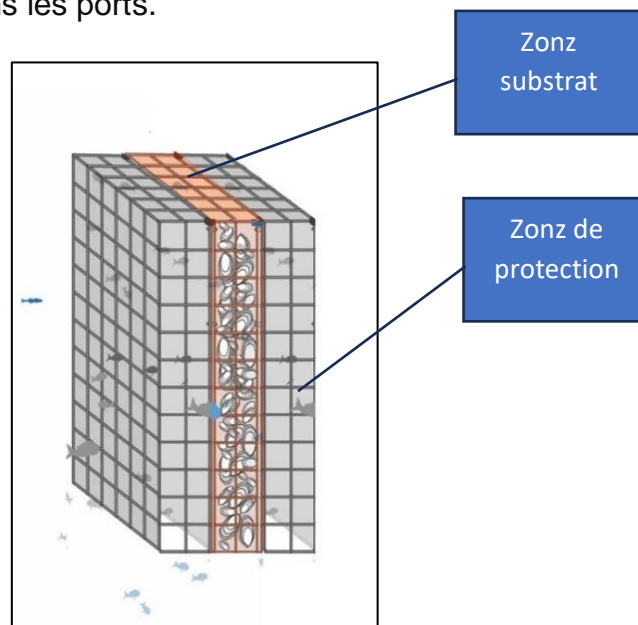


Figure 8: zone substrat et zone de protection d'un Biohut Ponton d'Ecocean

Etude de cas concret :
Réhabiliter la fonctionnalité
de nurserie dans le port de
Marina cap Monastir

1. Description de la zone d'étude

La zone d'étude est le port de plaisance Cap Marina Monastir figure 9. Il est à la fois un port d'escale, de passage, d'hivernage et de régates.

- Capacité totale : 300 Anneaux
- Longueur bateau maxi : 45 m
- Jetée extérieure : 7m
- Rade : 6m – 15m
- Chenal : 6m
- Tirant d'eau : 5.5m



Figure 9: port de plaisance Cap Marina Monastir

2. Localisation du port

Le port se situe au centre-ville de Monastir centre Est de la Tunisie figure 10

- Latitude Nord : 35°46' 7".
- Longitude EST : 10° 50' 1".



Figure 10: vue réelle du port et de l'avant-port marina cap Monastir

3. Etat initial du port de plaisance Cap Marina Monastir

3.1. Identification et gestion des pressions

Avant toute action de réhabilitation il faut éliminer ou réduire les sources de pressions et de pollution dans la zone étudiée. Aussi il faut que les gestionnaires du port soit engagé dans une stratégie environnementale. Le tableau 4 illustre certifications du port de Monastir.

Tableau 4 : Liste des certifications pour le port de Monastir

Certification port Propre	Non	Cette certification européenne n'existe pas en Afrique du Nord
Certification Port actif en Biodiversité	Non	Cette étape de certification supplémentaire à Port Propre n'existe pas en Afrique du Nord mais ce port a un potentiel de diversité élevé (Ramla BOUHLEL, 2022)
Pavillon bleu	Oui	Le port est Pavillon bleu
Certification ISO 14001	Oui	Le port est certifié Iso14001 depuis 2015

Les pressions identifier dans le port de Marina Cap Monastir sont les accidents de rejet des eaux usée et de fioul.

➤ **Rejet d'eau usée à l'intérieur du port Cap Marina Monastir**

Le rejet d'eau usée dans le port de Marina Cap Monastir est une menace que le port est habitué gérer, surtout pendant la période estivale avec l'augmentation du nombre d'habitants dans le village touristique de la marina.

➤ **Risques de déversement de fiouls causés par les grands bateaux abandonnés dans la marina cap Monastir**

L'évaluation des risques d'infiltration du fioul causés par les grands bateaux abandonnés dans la marina cap Monastir est une préoccupation majeure. Surtout que la Marina, a vécu deux accidents d'infiltration lors de cinq dernières années. Ces navires, s'ils fuient ou se détériorent, peuvent libérer des quantités de fioul dans l'environnement marin.

3.2. Evaluation de l'état du milieu

Tableau 5: Evaluation de l'état du milieu : Contraintes techniques, physiques et écologiques du port marina cap Monastir

Evaluer l'état du milieu : Contraintes techniques et physiques	Accessibilité du site terrestre	OK	
	Accessibilité du site maritime	OK	Le port est accessible pour les suivis et la maintenance et une convention d'une année vient d'être signé avec Notre Grand Bleu
	Bathymétrie	OK	De 4 m à 6 m de profondeur donc largement supérieur à 1.5m le seuil en dessous duquel il est difficile d'équiper un port
	Système d'accroche aux regards des infrastructures ciblées (état des quais)	OK-	Pontons en béton : plutôt en bon état Pontons flottants : plutôt en mauvais état

	Résistance météo/agitation du milieu	OK	Port bien abrité
	Activité portuaire (travaux, sécu plongeur, avitaillement)	OK	Deux clubs de plongée peuvent sécuriser pour les plongées de travaux * Approvisionnement : 5 min du centre-ville, un magasin général dans la marina, un chantier naval Eau et électricité sur bornes de quais 220/380/550 volts Station Gasoil
Evaluer l'état du milieu : Contraintes écologiques	Bathymétrie	OK	
	Pollution/rejets	Moyen	Problème de sous dimensionnement de la station de pompage (panne deux pompes parmi trois) provoque parfois le rejet d'eau usée à l'intérieur du port
	Rejet eau douce	OK	Eau pluviale fond de port
	Présence de juvéniles	OK	Grande abondant selon cette l'étude et les suivis effectués (Ramla BOUHLEL, 2022)
	Présence d'habitats favorables proches	OK	Cymodocée, posidonie surtout dans l'avant-port
	Activité portuaire	OK	Assez peu de navettes ; Uniquement celles pour les îles kuriats.

Suite à un RDV mené auprès du capitaine du port et du directeur général de la Marina Cap Monastir, il a été confirmé que les pressions environnementales étaient plutôt maîtrisées (figure 11). En effet, la Marina de Monastir est le premier port de plaisance en Afrique à avoir obtenu la certification ISO 14001 V 2015, ce qui témoigne de son engagement envers un système de management environnemental de qualité. De plus, la marina a eu aussi le Pavillon Bleu.



Figure 11: photo de la réunion avec les gestionnaires de la marina cap Monastir de la droite au gauche : Sahar CHEBAANE (comité scientifique Notre grand bleu Doctorant ; Faculté des Sciences, Université de Lisbonne) ; Ahmed Ghedira (étudiant université Montpellier

En se référant aux pressions environnementales (tableau 4) et l'évaluation de l'état du milieu (tableau 5), cela nous confirme que la Marina Cap Monastir est un choix très favorable parmi les six autres ports du gouvernorat de Monastir. Ce choix est renforcé par l'engagement des gestionnaires du port à minimiser les impacts environnementaux et à favoriser le développement des nurseries marines. Pour cela, la Marina Cap Monastir est sélectionnée parmi les six autres ports du gouvernorat de Monastir pour l'étude de la restauration de la fonctionnalité des nurseries marines en vue de l'installation de Biohut.

4. Etat zéro des nurseries (zone naturelle et zone portuaire)

4.1. Choix de la zone de référence et des sites portuaires

L'écosystème de référence est un état souhaitable choisi parmi plusieurs alternatives accessibles par des trajectoires (Aronson *et al.*, 1993). La référence est l'objectif final vers lequel on cherche à tendre. La restauration écologique, tout comme la réhabilitation, utilise l'écosystème de référence pour guider les travaux visant à améliorer de manière significative et durable la biodiversité et le fonctionnement de l'écosystème ciblé, plutôt que de chercher à le ramener à son état antérieur.

Dans notre cas, le suivi d'une zone de nurserie naturelle est essentiel pour établir un état de référence par rapport aux zones équipées et non équipées de Biohut dans le port. Cela permet d'évaluer l'efficacité des Biohut en termes de colonisation par les juvéniles de poissons.

Au cours de cette étude, nous avons effectué un parcours dans la zone naturelle proche de la marina indiquée dans la figure 12, Lors de la mission, 5 transects de 10 mètres de long ont été réalisés, espacés les uns des autres, avec trois répétitions de chaque transect. Les observations ont été effectuées dans une profondeur variant de 0 à 1 mètre, en comptabilisant les poissons de moins de 10 cm.

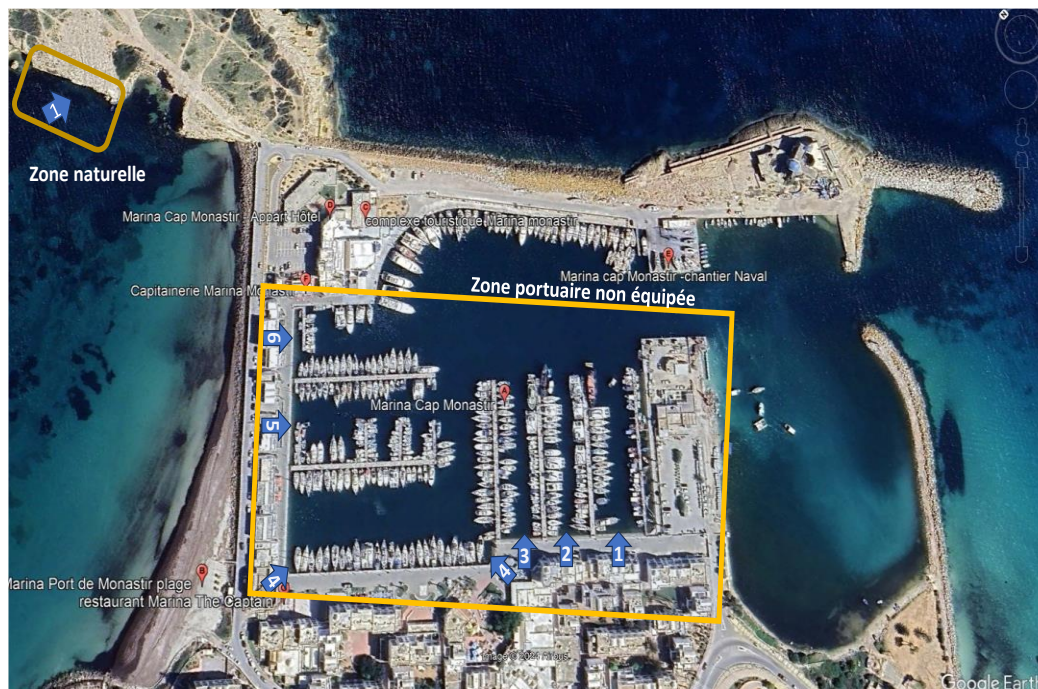


Figure 12: zone de référence et zones portuaire de prospection et d'inventaire des juvéniles et des post-larves

La plongée en apnée a été réalisée en utilisant un masque et un tuba à la surface. Il a été nécessaire de nager lentement et régulièrement pour obtenir des résultats précis lors du décompte des individus et de l'identification des espèces. Les données ont été consignées sur une ardoise appropriée, avec prise de photos des espèces observées pour identification ultérieure.

Dans le cadre de cette étude, une mission de prospection et d'inventaire des juvéniles et des post-larves de poissons a pu être réalisée le 28 mars 2024 dans la zone naturelle à l'ouest de l'île de Ghdemssi qui contient une seule station : station 1 zone naturelle, figure 12, caractérisé par une grande diversité d'écosystèmes marins, une accessibilité pratique et une préservation environnementale. Ce site constitue un abri naturel offrant des milieux préférentiels pour les juvéniles des poissons

Tandis que pour la zone portuaire sujet d'étude est une zone à l'intérieur du port de la marina constituée de 6 stations figure 12.

Comme l'autorisation de plonger dans le port n'a pas été obtenue, le suivi des juvéniles n'a pas été effectué conformément au protocole décrit précédemment. Cependant, des vidéos ont été pris le 02 MAI 2024 dans la station prédéfinie figure 12 en tenant la caméra par une perche en essayant de couvrir un transect dans chacune des six stations. Ces vidéos ont permis d'identifier les poissons dans les 6 stations à l'intérieur du port.

Résultats
&
Discussion

1. Station 1 : zone naturelle

Le 28 mars 2024, une mission de prospection et d'inventaire des juvéniles et des post-larves de poissons a été menée dans la station 1 zone naturelle figure 12, suivant un protocole décrit au paravent.

Tableau 6: liste et abondance des espèces identifiées dans la station 1 zone naturelle

Station zone naturelle (Station référence)	Nom scientifique de l'espèce	Abondance
	<i>Diplodus vulgaris</i>	13
	<i>Oblada melanura</i>	34
	<i>Diplodus sargus</i>	7
	<i>Chelon auratus</i>	6
	<i>Pagrus pagrus</i>	4
	<i>Symphodus cinereus</i>	2
	<i>Labrus viridis</i>	3
	<i>Sarpa salpa</i>	9
	<i>Diplodus puntazzo</i>	6
	<i>Salaria pavo</i>	3

Les résultats de cette mission sont présentés dans le tableau ci-dessus : un total de 87 juvéniles de poissons appartenant à 10 espèces différentes ont été recensés (figure 13). Parmi ces espèces, *Oblada melanura* était la plus dominante avec 34 individus, tandis que la moins abondante était le *Symphodus cinereus*, avec seulement 2 individus. Ces données fournissent un aperçu de la composition et de l'abondance des juvéniles de poissons dans la zone naturelle étudiée considérée comme référence.



Figure 13: photo des juvéniles dans les zone naturelle, site de référence

2. Station 2 : l'intérieure de la marina

Le 5 mai 2024, une mission de prospection et d'inventaire des juvéniles et des post-larves de poissons a été réalisée dans les stations 1 à 6 de la zone d'étude portuaire, tel que décrit dans la figure 12.

STATION 1 : un total de 158 juvéniles de poissons appartenant à 4 espèces différentes ont été recensés. Parmi ces espèces, la ***Sarpa salpa*** était la plus dominante avec 105 individus, tandis que la moins abondante était le ***Diplodus sargus***, avec seulement 3 individus tableau 7.

STATION 2 : un total de 57 juvéniles de poissons appartenant à 4 espèces différentes ont été recensés. Parmi ces espèces, la ***Sarpa salpa*** était la plus dominante avec 40 individus, tandis que la moins abondante était le ***Diplodus vulgaris***, avec seulement 3 individus tableau 7.

Tableau 7: Liste et abondance des espèces identifiées dans la station 1 et 2 de la zone portuaire

Station (S)	Nom scientifique de l'espèce	Abondance
1	<i>Diplodus sargus</i>	3
	<i>Sarpa salpa</i>	105
	<i>Mugil cephalus</i>	40
	<i>Diplodus vulgaris</i>	10
2	<i>Diplodus sargus</i>	4
	<i>Mugil cephalus</i>	10
	<i>Sarpa salpa</i>	40
	<i>Diplodus vulgaris</i>	3

STATION 3 : un total de 84 juvéniles de poissons appartenant à 5 espèces différentes ont été recensés. Parmi ces espèces, la ***Sarpa salpa*** était la plus dominante avec 80 individus. Tableau 8.

STATION 4 : un total de 140 juvéniles de poissons appartenant à 4 espèces différentes ont été recensés. Parmi ces espèces, la **Sarpa salpa** était la plus dominante avec 130 individus. Tableau 8.

Tableau 8: Liste et abondance des espèces identifiées dans la station 3 et 4 de la zone portuaire

Station	Nom scientifique de l'espèce	Abondance
3	<i>Sarpa salpa</i>	80
	<i>Diplodus sargus</i>	1
	<i>Diplodus vulgaris</i>	1
	<i>Mugil cephalus</i>	1
	<i>Salaria pavo</i>	1
4	<i>Diplodus vulgaris</i>	8
	<i>Diplodus sargus</i>	1
	<i>Sarpa salpa</i>	130
	<i>Mugil cephalus</i>	1

STATION 5 : un total de 41 juvéniles de poissons appartenant à 5 espèces différentes ont été recensés. Parmi ces espèces, la **Sarpa salpa** était la plus dominante avec 20 individus, tandis que la moins abondante était le **Salaria pavo**, avec seulement 1 individu tableau 9.

Tableau 9: liste et abondance des espèces identifiées dans la station 5 et 6 de la zone portuaire

Station	Nom scientifique de l'espèce	Abondance
5	<i>Diplodus sargus</i>	4
	<i>Diplodus vulgaris</i>	6
	<i>Salaria pavo</i>	1
	<i>Sarpa salpa</i>	20
	<i>Mugil cephalus</i>	10
6	<i>Fistularia commersonii</i>	1
	<i>Sarpa salpa</i>	11
	<i>oblada melanura</i>	1
	<i>Diplodus sargus</i>	6

STATION 6 : un total de 19 juvéniles de poissons appartenant à 4 espèces différentes ont été recensés (figure14). Parmi ces espèces, la *Sarpa salpa* était la plus dominante avec 11 individus, tandis que la moins abondante était le *Fistularia commersonii*, avec seulement 1 individu tableau9.



Figure 14: Photo des juvénile à l'intérieure du port marina dans les zones portuaires de 1 à 6.

Selon les résultats illustrés dans ces tableaux le port présente une diversité très respectable de juvéniles ce qui appui notre démarche de récréation d'une nurserie artificielle. La présence majoritaire de saupes reste normale aux vues de la période de l'année étudiée.

3. Pré-diagnostic pour l'équipement de la Marina Cap Monastir

Au sud du port se trouve le chenal d'entrée d'une profondeur de 6 mètres, permettant l'accès aux navires de différentes tailles, dont le tirant d'eau ne dépasse pas 5 mètres. À l'est de ce chenal se trouve le chantier naval du port, tandis que juste à côté ce trouve le quai d'honneur, destiné à accueillir les grands bateaux à moteur et les grands voiliers. Le quai situé à gauche du chenal en rentrant dans le port abrite la station de carburant.



Figure 15: : Les différentes zones d'équipement et aménagement du port marina Monastir

Le port est équipé de cinq points de rejet d'eau pluviale, répartis sur les quais pour assurer une évacuation eaux de pluie. Le port contient 5 pontons flottants en béton, marqués en rouge sur la figure 15. Et, cinq pontons flottants en bois, colorés en bleu, sont disponibles, dont un est réservé à l'usage des pêcheurs. Des travaux d'aménagement sont en cours sur le quai de l'avant-port et devraient être achevés à court terme.

4. Identification des différentes zones selon les fonctionnalités et les installations (eau pluviale, eau douce et dimension des bateau)

En se référant aux plan et à l'aménagement du port de la marina ainsi que la répartition spatiale des services techniques, tel que le chantier navale, la station de fioul, le plan d'eau pluvial, le plan d'eau douce et usée etc....

Une carte de distribution des zones potentielles d'équipement en nurseries artificielles doit être faite en se basant sur ces caractéristiques environnementales :

- Courants marins : éviter que les nurseries ne soient exposées à des courants trop forts qui pourraient compromettre la survie des juvéniles.
- Qualité de l'eau : qualité de l'eau et salinité : elle doit être marine (>30‰) et donc propice à la croissance des juvéniles et à leur santé il faut éviter les points de rejets d'eau pluvial et les points où on peut avoir une pollution chimique (près du chantier navale ou près de la station de fioul).
- Profondeur : les zones adaptées sont celles avec la plus grande profondeur idéale pour les juvéniles et la forme des biohuts à utiliser.
- Taille de bateaux : éviter les zones accostage des grandes bateaux vu que les grandes hélices et les moteurs puissants perturbent les juvéniles que ce soit par la pollution ou les courants d'eau.

Selon ces critères, un plan de zonage est élaboré, (figure 16) où on trouve trois zones différenciées par trois couleurs, fournissent des indications sur le potentiel des différentes zones pour l'installation de nurseries artificielles en fonction de leur environnement (les critères étudiés au paravent) et de leur fréquentation et la diversité des espèces des juvéniles de poissons. Les trois couleurs sont le vert, orange et jaune :

➤ Vert :

- Les zones marquées en vert indiquent des zones idéales pour l'installation de nurseries artificielles.
 - Elles sont des zones à une forte fréquentation des juvéniles ou proche d'une zone abondante de juvéniles et des conditions environnementales propices à leur développement.
- ➔ Ces zones sont prioritaires pour l'installation de structures artificielles.

- Orangé :
 - Des zones qui présentent des conditions environnementales défavorables : qualité de l'eau moyenne, salinité basse, pollution, courants forts et/ou d'autres facteurs qui pourraient compromettre le succès des nurseries.
 - ➔ Ce sont généralement des zones à éviter pour l'installation de nurseries.

- Jaune :
 - Elles peuvent présenter des caractéristiques environnementales plus ou moins bonne ou une présence des juvéniles importante.
 - ➔ Les zones marquées en jaune sont des zones intermédiaires où l'installation de nurseries peut être envisagée avec certaines précautions et après une évaluation approfondie des conditions locales et des besoins des espèces cibles.

Le zones identifiées selon les fonctionnements et les installations sont illustrées par



la figure15 suivante.

Figure 16: zonage du port de la marina selon les fonctionnements et les installations de service portuaire :

Description des zones :

- **Zone orangée :**
 - Zone A et A' : ce sont les zones où il y a les émissaires de rejets des eaux pluviales ce qui peut changer brusquement la salinité de la zone et qui apportera d'autres risques de pollution.
 - Zone D : c'est la zone qui contient le chenal principal du port donc des courants forts. Elle est aussi la zone du chantier naval ainsi que la station de carburant donc une zone à risque de pollution.
 - ➔ Zone A, A' et D sont des zones à éviter pour l'installation de nurseries.

➤ **Zone jaune :**

- Zone c et c' : une zone caractérisée par la présence des grands bateaux dont le fonctionnement des moteurs à l'embarcation où à la sortie provoque un courant d'eau dû à la propulsion des hélices qui peut déplacer les post-larves et créer une forêt turbidité qui gêne et disperse les juvéniles.
- Zone E et E' : c'est l'avant-port où on observe une zone à forte courant et pas profonde la zone E ' tandis que la zone E est une zone abritée limité par une digue d'un côté et d'un quai en phase de renouvellement sauf que des travaux sont prévus prochainement.
 - ➔ Zone intermédiaire où l'installation est possible mais avec précaution.

➤ **Zone verte :**

- Zone B : le milieu du port est une zone équipée par cinq pontons flottants en béton et trois pontons flottants en bois avec une profondeur adaptée.
 - ➔ Zone prioritaire pour l'installation.

4.1. Sites potentiels qui peuvent être équipé par un dispositif de restauration Biohut

Pour installer efficacement des Biohut, il a été nécessaire d'étudier les emplacements favorables, en prenant en compte les conditions environnementales, les conditions du milieu et le zonage défini dans la figure 17. Cette analyse a permis d'identifier les endroits les plus appropriés pour leur installation.

Ensuite, il faut sélectionner le type de Biohut le mieux adapté en fonction de l'aménagement et de l'emplacement de la station et de la fonction de réhabilitation souhaitée. Cette sélection devrait des objectifs de conservation ou de restauration écologique visés.

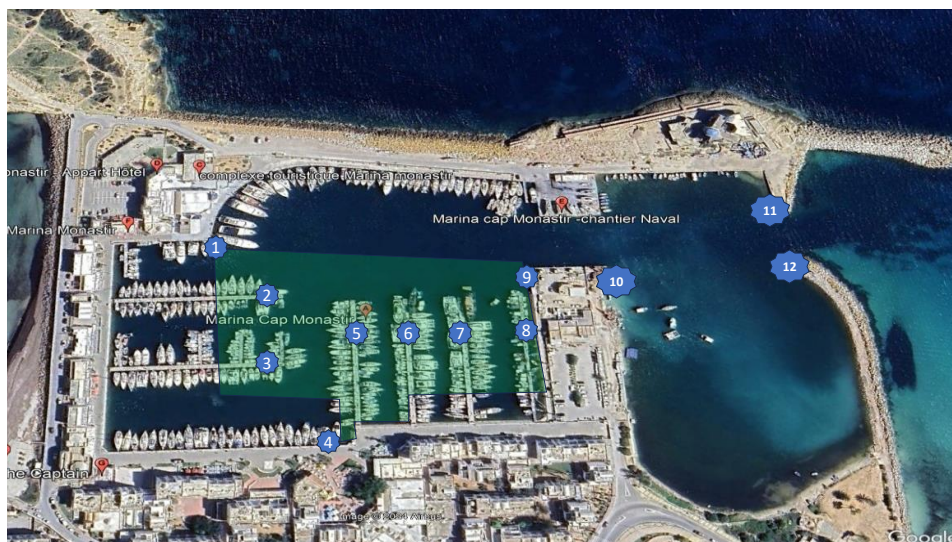


Figure 17: les stations dans le port de la marina à potentiel d'équipement par des Biohuts

Tableau 10 : Avantage, inconvénient et type de Biohut proposé pour chaque station

Stations	Avantage / inconvénient	Equipement oui /non	Solution proposée
1	Quai profond 5m près d'une zone à forte présence de juvéniles mais situé entre zone de grands bateaux à moteur et un canal d'eau pluvial	Non	Rien
2	En plein zone verte proche de deux zones à forte présence de juvéniles la structure est un ponton flottant en béton	Oui	5 Biohuts ponton
3	En plein zone verte proche de deux zones à forte présence de juvéniles la structure est un ponton flottant en béton	Oui	5 Biohut Ponton
4	Une zone jaune mais à proximité d'une zone verte zone à forte présence de juvéniles et bateaux sont de type voilier quai profonde de 4 à 5m	Oui	3 Biohut Quai
5	En plein zone verte proche de deux zones à forte présence de juvéniles la structure est un ponton flottant en béton	Oui	5 Biohut Ponton
6	En plein zone verte proche de deux zones à forte présence de juvéniles mais près d'un rejet d'eau pluvial la structure est un ponton flottant en béton	Oui Le plus loin possible du quai principal	5 Biohut Ponton
7	Dans la zone verte proche de deux zones à forte présence de juvéniles mais à proximité d'une zone orangée entre deux points de rejet d'eau pluvial la structure est un ponton flottant en béton	Non	Rien
8	En plein zone verte proche de deux zones à forte présence de juvéniles mais près d'un rejet d'eau pluvial la structure est un ponton flottant en bois en mauvaise état utilisée par les pêcheurs	Non	Rien
9	Quai profonde 3 à 4 m près d'une zone à forte présence de juvéniles mais situé entre zone de grands bateaux à moteur et un canal d'eau pluvial un point très important et très favorable pour installer 3 Biohut Quai mais dans cette zone accoste la garde	Non	Rien

	national et l'APAL donc non mais il faut plaider pour leur installation		
10	Quai profonde 1 à 1.5 m mais des travaux en cours de renouvellement de ce quai restent une position importante au cas où on n'installe pas les 5 Biohut Quai dans la station 9	Non	Rien
11	Digue construite avec des grandes blocs de roches	Oui	6 Biohut digues
12	Digue construite avec des grandes blocs de roches	Oui	6 Biohut digues

5. Proposition finale d'équipements

Selon MEDAM (Monitoring de l'Évolution de l'Artificialisation du Littoral Méditerranéen), il est possible d'évaluer les impacts directs des aménagements côtiers sur les écosystèmes, en particulier la destruction des petits fonds marins. Les données fournies permettent d'estimer l'artificialisation du littoral méditerranéen, actuellement estimée à 10.61% du linéaire côtier, répartie de manière inégale entre les régions.

Les règles de dimensionnement d'un projet visant à restaurer ou réhabiliter la fonction nurserie dans les zones portuaires soulignent l'importance de couvrir l'intégralité de la zone portuaire pour maximiser l'efficacité écologique, sans nécessairement équiper chaque partie du port. Pour déterminer la quantité d'équipements nécessaires, il est essentiel de connaître le linéaire originellement impacté par le port, défini comme le linéaire de côte naturelle artificialisé.

Pour restaurer la fonction nurserie dans les zones portuaires, il est essentiel de connaître le linéaire impacté par le port. Selon les recommandations basées sur l'étude MedHab, il est suggéré de restaurer au minimum 50 mètres linéaires de nurserie artificielle, ou 10% du linéaire impacté par le port si celui-ci est supérieur à 500 mètres. Il est également conseillé de découper ce linéaire en tronçons de minimum 10 mètres, avec une distance maximale de 10 mètres entre chaque tronçon, afin de recréer les conditions naturelles favorables au développement des écosystèmes marins (Cheminée *et al.*, 2017 ; projet RESMED)

Le plan d'installation proposé ci-dessous, respecte les règles de dimensionnement ainsi que les recommandations basées sur l'étude menée dans le cadre du projet MedHab.



Figure 18: Plan d'installation des Biohut

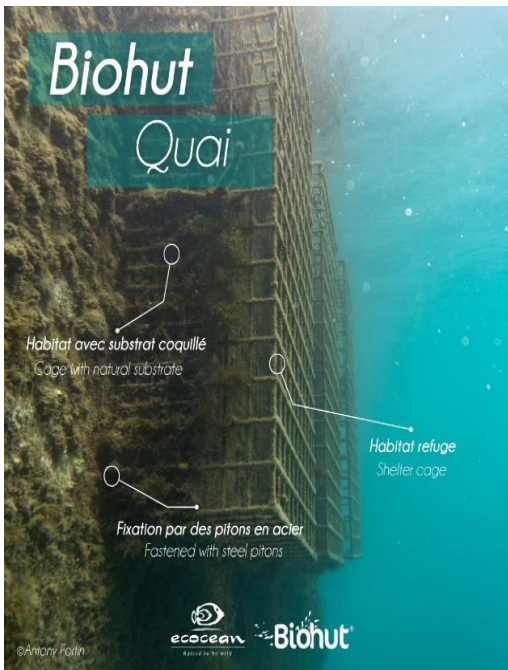
Solution	Nombre
Biohut ponton	20
Biohut quai	5
Biohut digue	12
Biohut Kelp	4
Nombre total	41



Figure 19: longueur du port de la marina Cap

En effet, la longueur calculée de la côte urbanisée par la construction de la marina Cap Monastir est de 500 mètres figure 18. Le pourcentage de nurseries dans cette longueur est de 10%, soit 50 mètres linéaires de nurseries. Étant donné que 5 Biohut couvrent 10 mètres linéaires, pour compenser les 50 mètres de nurseries détruites, il faudrait équiper le port d'au moins 25 Biohut. Cependant, selon notre plan d'installation, nous prévoyons d'installer 41 Biohut, largement plus que le nombre requis (figure 18 et 19).

5.1. Description des Biohut utilisés dans cette solution



Les Biohut Quai sont positionnés stratégiquement le long des quais des ports et des marinas.

Chaque Biohut se compose de deux cages. La première, remplie d'un substrat naturel, crée un environnement idéal pour les jeunes poissons, favorisant leur croissance en offrant une source d'alimentation riche en micro-organismes. La seconde cage, voisine, offre un refuge sécurisé pour ces jeunes animaux aquatiques, favorisant leur développement.

Fonctions écosystémiques :

- nurserie pour jeunes recrues de poissons.
- support faune flore fixées.
- habitat faune vagile.

Figure 20: Biohut quai Ecocean



Les Biohut Ponton sont composés de deux caissons grillagés en acier vide agissant comme « zone de protection », ceux-ci abritent les juvéniles de poissons à la recherche d'un habitat pour se protéger des prédateurs.

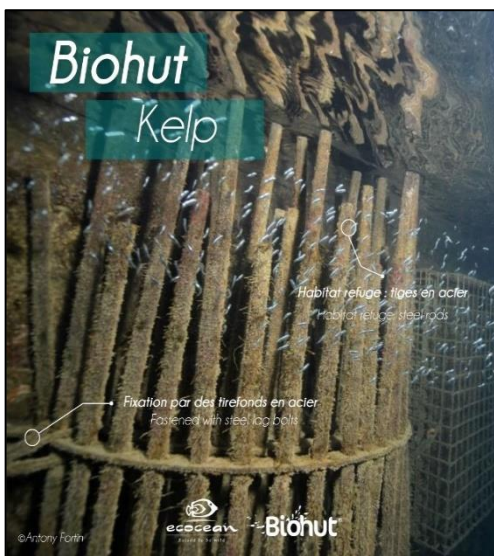
Au centre de ces deux caissons grillagés se trouve une cage en acier remplie d'un substrat naturel, comme les coquilles d'huîtres. Celle-ci permet d'offrir le « gîte et le couvert » aux jeunes animaux aquatiques.

La combinaison de ces trois caissons vise à rétablir la fonction de nurserie dans les zones artificialisées et donc d'augmenter le taux de survie des juvéniles de poissons, et autres invertébrés.

Fonctions écosystémiques :

- nurserie pour jeunes recrues de poissons.
- support faune flore fixées.
- habitat faune vagile.

Figure 21: Biohut ponton Ecocean



Composé de tiges en acier et d'un module central rempli de coquilles d'huîtres, le Biohut Kelp est conçu pour résister aux conditions marines les plus exigeantes tout en favorisant la biodiversité locale. Sa position stratégique le long des quais contribue à complexifier les structures lisses, offrant ainsi des espaces de protection cruciaux pour la faune marine. De plus, il peut être associé avec nos Biohut Quai pour maximiser les bénéfices écologiques.

Avec une hauteur d'immersion variant entre 1 et 5 mètres, le Biohut Kelp offre un habitat en eaux plus profondes pour les juvéniles de l'année, garantissant ainsi un environnement optimal pour leur développement

Figure 22: Biohut Kelp Ecocean



Les Biohut® Digue, constitués d'une platine en acier en forme d'étoile, de cercle ou de demi-lune, sur laquelle sont fixées des tiges en bois, visent à renforcer la fonction habitat des enrochements artificiels en offrant protection et nourriture aux jeunes poissons.

Fonctions écosystémiques :

- nurserie pour poissons côtiers (entre 0 et 1m).
- habitat corridor (immersion > 1m).
- support faune flore fixées.

Figure 23: Biohut Digue Ecocean

Conclusion
&
Perspectives

En conclusion, notre étude a révélé un fort engagement et enthousiasme de la part des gestionnaires du port pour tenter d'améliorer l'état environnemental de la marina. Bien que des pressions sur la biodiversité existent encore, telles que les espèces non indigènes, les eaux usées et le risque de fuite de carburant, ces pressions sont plutôt maîtrisées.

Il est cependant recommandé de renouveler la station de pompage des eaux usées et de mettre en place une stratégie efficace de prévention et de gestion pour minimiser les risques de pollution de la marina Cap Monastir, ainsi qu'un plan d'intervention en cas de fuite de carburant.

Le choix de l'entreprise pour la fabrication des dispositifs techniques d'éco-ingénierie doit être basé sur l'indice RTL, reflétant la maturité technologique et le suivi scientifique des inventions après leur installation. Dans ce contexte, les Biohut d'Ecocean ont été choisis.

L'équipement du port Marina Cap Monastir, visant à restaurer la fonctionnalité des nurseries, a été réalisé en se référant au zonage établi dans notre étude. Trois zones ont été identifiées : une zone verte prioritaire pour l'installation des structures artificielles, une zone orangée à éviter pour les nurseries, et une zone jaune intermédiaire où l'installation est envisageable avec certaines précautions.

Sur la base de ce zonage, une solution a été proposée, définissant le projet avec 41 modules, réparti en 5 Biohut Quai, 20 Biohut Pontons, 12 Biohut Digue et 4 Biohut Kelp.

Étant donné que la longueur des côtes urbanisées pour la construction de la marina Cap Monastir est de 500 mètres, soit 50 mètres linéaires de nurseries, la solution proposée dépasse largement le seuil minimum requis avec au moins 25 Biohut, couvrant ainsi les 50 mètres de nurseries détruites.

Après l'installation des dispositifs, il est essentiel de mettre en place un protocole de suivi rigoureux pour évaluer leur efficacité. Ce protocole implique la réalisation de trois répliques de cinq transects de 10 mètres chacun, à une profondeur ne dépassant pas 1 mètre. Ces transects doivent être effectués dans une zone du port équipée des dispositifs, une zone du port non équipée, ainsi que dans une zone naturelle située à l'extérieur du port, servant de référence. Ce suivi permettra de comparer l'évolution de la biodiversité et des conditions environnementales entre les différentes zones. Il permettra également d'évaluer l'efficacité des dispositifs d'éco-ingénierie dans la restauration de l'habitat marin. Les résultats obtenus aideront à ajuster les stratégies de gestion et à optimiser l'impact positif des mesures mises en œuvre pour la préservation de l'environnement portuaire aussi comme outil de plaidoyer auprès des décideurs et des gestionnaires des ports. Cette approche et ces recommandations peuvent offrir une réponse complète et efficace pour la restauration de la biodiversité

dans la marina Cap Monastir, tout en assurant une gestion durable et responsable de l'environnement portuaire.

*Références
bibliographiques*

Able KW, Manderson JP, Studholme AL (1999) Habitat quality for shallow water fishes in an urban estuary: the effects of man-made structures on growth. *Marine Ecology Progress Series* 187:227-235

Able, K.W., Manderson, J.P., Studholme, A.L. (1999). Habitat quality for shallow water fishes in an urban estuary: the effects of man-made structures on growth. *Marine Ecology Progress Series* 187:227-235 and its three-dimensional structure. *Scientific reports*, 7 (1), 14638.

Armsworth, P.R. (2002). Recruitment limitation, population regulation, and larval connectivity in reef fish metapopulations. *Ecology* 83, 1092–1104.

Aronson, J., Floret, C., LeFloc'h, E., Ovalle, C., Pontanier, R. (1993). Restoration and rehabilitation of degraded ecosystems in arid and semi-arid lands. I. A view from the south. *Restor Ecol.* 1(1):8-17. [<https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.1993.tb00004.x>].

Beck, M.W., Heck, K.L., Able, K.W., Childers, D.L., Eggleston, D.B., Gillanders, B.M., Halpern, B., Hays, C.G., Hoshino, K., Minello, T.J., et al. (2001). The Identification, Conservation, and Management of Estuarine and Marine Nurseries for Fish and Invertebrates. *BioScience* 51, 633.

Ben Souissi, J. (2015). Les espèces non indigènes invasives et leurs impacts sur l'environnement et les activités économiques en mer Méditerranée. CIHEAM. Watch Letter n°33.

biology Ed. Sinauer Associates, (2006). 779 pages.

Bouchouca, M., Darnaude, A., Gudefin, A., Neveu, R., Verdoit-Jarraya, M., Boissery, P., Lenfant, P. (2016). Potential use of marinas as nursery grounds by rocky fishes: insights from.

Chebaane, S., Sempere-Valverde, J., Dorai, S., Kacem, A., Sghaier, Y. (2019). A Preliminary inventory of alien and cryptogenic species in Monastir Bay, Tunisia: spatial distribution, introduction trends and pathways. *Mediterranean Marine Science*, 20 (3), 616 626.

Cheminée, A., Pastor, J., Bianchimani, O., Thiriet, P., Sala, E., et al. (2017). Juvenile fish assemblages in temperate rocky reefs are shaped by the presence of macro-algae canopy.

DESAUNAY, Y., PERDDOU, J.-B., BEILLOIS, P. (1981). Etude des nurseries de poissons du littoral de la Loire-Atlantique. Groom, M.J., G. K. Meffe., C. R. Carroll., 2006. Principles of conservation.

Eschmeyer, W.N., Fricke, R., Fong, J.D., Polack, D.A. (2010). Marine fish diversity: history of knowledge and discovery (Pisces). *Zootaxa* 2525:19-50.

- Gibson, R. (1994). Impact of habitat quality and quantity on the recruitment of juvenile flatfishes. *Netherlands Journal of Sea Research* 32:191-206.
- Gibson, R., Robb, L., Wennhage, H., Burrows, M. (2002). Ontogenetic changes in depth distribution of juvenile flatfishes in relation to predation risk and temperature on a shallowwater nursery ground. *Marine Ecology Progress Series* 229, 233–244.
- Gudefin, A., Lenfant, P., Fonbonne, S., Boissery, P. (2022). Guide technique - Evaluation des pilotes expérimentaux et des travaux de restauration écologique, cas des nurseries portuaires. *ICO Solutions / DRIVER / Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse*, 54p.
- Hindell, J.S., Jenkins, G.P., Moran, S.M., Keough, M.J. (2003). Swimming ability and behaviour of post-larvae of a temperate marine fish re-entrained in the pelagic environment. *Oecologia* 135, 158–166.
- Holmlund, C.M., Hammer, M. (1999). Ecosystem services generated by fish populations. *Ecological Economics* 29, 253–268.
- Jackson, J.B., Kirby, M.X., Berger, W.H., Bjorndal, K.A., Botsford, L.W., Bourque, B.J., Bradbury, R.H., Cooke, R., Erlandson, J., Estes, J.A. (2001). Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293:629-637.
- JEGLOT, S. (2023). Evaluation des solutions existantes de restauration des fonctions nurseries des zones portuaires.
- Jones, R., Baltz, D., Allen, R. (2002). Patterns of resource use by fishes and macroinvertebrates in Barataria Bay, Louisiana. *Marine Ecology Progress Series* 237:271-289.
- LENFANT, P., Gudefin, A., Fonbonne, S., Lecaillon, G. (2015). Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée - orientations et principes. *Armsworth, P.R. (2002). Recruitment limitation, population regulation, and larval connectivity in reef fish metapopulations. Ecology* 83, 1092–1104.
- Lotze, H.K., Lenihan, H.S., Bourque, B.J., Bradbury, R.H., Cooke, R.G., Kay, M.C., Kidwell, S.M., Kirby, M.X., Peterson, C.H., Jackson, J.B. (2006). Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science* 312, 1806–1809.
- Mercader, M., Mercière, A., Saragoni, G., Cheminée, A., Crec'hrioua, R., Pastor, J., Rider, M., Dubas, R., Lecaillon, G., Boissery, P., Lenfant, P. (2017). Small artificial habitats to enhance the nursery function for juvenile fish in a large commercial port of the Mediterranean.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., Da Fonseca, G.A., Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403:853.

- Nagelkerken, I., Sheaves, M., Baker, R., Connolly, R.M. (2015). The seascape nursery: a novel spatial approach to identify and manage nurseries for coastal marine fauna. *Fish and Fisheries* 16, 362–371.
- Nash, R., Geffen, A. (2000). The influence of nursery ground processes in the determination of year-class strength in juvenile plaice *Pleuronectes platessa* L. in Port Erin Bay, Irish Sea. *Journal of Sea Research* 44:101-110.
- Peterson, C.H., Summerson, H.C., Thomson, E., Lenihan, H.S., Grabowski, J., Manning, L., Micheli, F., Johnson, G. (2000). Synthesis of linkages between benthic and fish communities as a key to protecting essential fish habitat. *Bulletin of Marine Science* 66:66 :759-774.
- Planes, S., Lecaillon, G. (2001). Caging experiment to examine mortality during metamorphosis of coral reef fish larvae. *Coral Reefs* 20, 211–218.
- Reis-Santos, P., Gillanders, B.M., Tanner, S.E., Vasconcelos, R.P., Elsdon, T.S., Cabral, H.N. (2012). Temporal variability in estuarine fish otolith elemental fingerprints: Implications for connectivity assessments. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 112:216-224.
- Rijnsdorp, A., Van Beek, F., Flatman, S., Millner, R., Riley, J., Giret, M., De Clerck, R. (1992). Recruitment of sole stocks, *Solea solea* (L.), in the Northeast Atlantic. *Netherlands Journal of Sea Research* 29:29 :173-192.
- Sallemi, R. (2017). Le déclin de la biodiversité marine dans la Baie de Monastir et ses conséquences sociales, Méditerranée [En ligne], 128, mis en ligne le 01 novembre Références bibliographiques 63 2018, consulté le 16 mars 2022.
- Sumaila, U.R., Cheung, W.W.L., Lam, V.W.Y., Pauly, D., Herrick, S. (2011). Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries. *Nature Climate Change* 1, 449–456.
- Thomas C. Uher et al. (2020). “A review of technology readiness level definitions and measures”.
- Vinagre, C., Narciso, L., Cabral, H.N., Costa, M.J., Rosa, R. (2012). Coastal versus estuarine nursery grounds: Effect of differential temperature and heat waves on juvenile seabass, *Dicentrarchus labrax*. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 109 :133-137.