

République Tunisienne

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de Monastir

Institut Supérieur De Biotechnologie De Monastir

Mémoire de projet de fin d'étude

Filière : Licence Co-construite en Biotechnologie Marine

Et Aquaculture

Intitulé

**ETUDE DE L'ÉTAT ACTUEL DE *PINNA NOBILIS* DANS LA
BAIE DE MONASTIR ET LES ILES KURIAT**

Présenté par : Mayssa Kalai

Soutenu le 28\07\2020, devant le jury composé de :

- **Président** :Dr.Wafa Tayeb
- **Rapporteur** :Dr.Sabria Baraka
- **Encadrant** : Dr.Chadia Jabeur
- **Co-encadrant** : Dr. Manel Ben Ismail

Année universitaire : 2019-2020

Remerciements

Que ceux qui ont contribué à l'élaboration de ce travail soient ici sincèrement remerciés.

Je tiens à remercier dans un premier temps **Dr. Manel ben Ismail** et **Dr. Chadia Jabeur** pour leurs conseils et leur guide scientifique et pour l'expérience enrichissante tout au long de mon travail.

Je tiens à remercier aussi le plongeur professionnel **Mr. Mahdi Aguir** et l'écogarde de l'association Notre Grand Bleu, **AlaEddine Saïd**. C'est grâce à eux que toutes mes sorties sur terrain sont devenues possibles.

Je tiens à remercier aussi **Melle Hayet Baccouche**, spécialiste en géomatique au sein de l'association NGB, qui m'a énormément aidé et a contribué à ma formation dans le domaine des logiciels d'information géographique.

J'exprime aussi ma reconnaissance à **Mme Wafa Tayeb** qui me fait l'honneur de présider le jury, je l'en remercie vivement, et à **Mme Sabria Baraka** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

J'exprime ma profonde gratitude à toute l'équipe de l'association **Notre Grand Bleu** pour l'aide qui m'a permis de réaliser cette étude.

Je tiens à remercier aussi tous les enseignants qui ont contribué à ma formation, à l'enrichissement du fond scientifique et à l'amélioration de mes compétences.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail et mes profondes gratitudees à mes chers parents qui m'ont toujours soutenu dans les moments les plus difficiles.



Table Des Matières

	Page
I.Introduction.....	8
II. Synthèse Bibliographique.....	12
1. Généralités sur l'espèce	13
1.1. Classification.....	13
1.2. Biologie de l'animal.....	13
1.2.1. Morphologie et anatomie.....	13
1.2.2. Reproduction.....	15
1.2.3. Croissance.....	17
1.2.4. Ecologie et milieu de vie	18
1.2.5. Régime alimentaire.....	20
2. Les menaces et les risques.....	20
a)La pêche et la plongée.....	20
b)La pollution et le rejet de l'eau usée.....	22
c)Les maladies.....	22
3. Importance écologique de l'espèce.....	23
4.La présence de <i>P. nobilis</i> en Tunisie.....	24
III. Zone d'étude, Matériel& Méthodes.....	26
1. La zone d'étude.....	27
2. Méthodes d'observation et monitoring.....	29
A. Enquête avec les plongeurs chasseurs et les pêcheurs.....	29
B.La prospection sur terrain	30
C. Estimation de la densité de la population.....	32
D.Biométrie des individus.....	32
3. Etablissement des cartes de distribution de <i>Pinna nobilis</i> dans la baie de Monastir et l'AMCP Kuriat.....	33
IV. Résultats& Discussion.....	34
1. Analyse des enquêtes	35
a)Analyse de la présence de l'espèce au cours des années.....	35
b) Analyse de la présence de l'espèce selon les caractéristiques de l'habitat	36
2. Résultats de la prospection sur terrain.....	38
a) Analyse du premier secteur : baie de Monastir (côté continent).....	40
b) Analyse du deuxième secteur : La grande Kuriat.....	42
c)Analyse du troisième secteur : La petite Kuriat.....	44
V. Conclusion & Perspectives.....	49
Références.....	52
Annexe 1.....	58
Annexe 2.....	61

Liste des abréviations

AMCP	Aire Marine et Côtière Protégée
GPS	Système de localisation par satellite (Eng. Global Positioning System)
Ind	Individu
MME	Événement de mortalité de mass (Eng. Mass Mortality Event)
NGB	Association Notre Grand Bleu
UICN / IUCN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature (Eng. International Union for Conservation of Nature)

Liste des figures

- Figure 1** : Aire de répartition et de mortalité de la grande nacre dans la Méditerranée
- Figure 2** : La grande nacre dans son habitat naturelle
- Figure 3** : Face droite de la coquille d'un spécimen de *Pinna nobilis*(**A**) ; L'intérieur de la coquille d'un spécimen de *Pinna nobilis*(**B**)(D'après Rabaoui 2009)
- Figure 4** : Anatomie générale de la grande nacre et l'intérieur d'une valve avec l'animal entier (D'après Vicente 2015)
- Figure 5** : Etapes de développement de *Pinna nobilis* (d'après Vicente, 1986)
- Figure 6** : Densités des populations de *Pinna nobilis* dans le Bassin méditerranéen (d'après García- March and Kersting, 2006)
- Figure 7** : Distribution de population de *P. nobilis* en Nord et Nord Est de la Tunisie 2008 (D'après Rabaoui et al., 2008)
- Figure 8** : La carte géographique et bathymétrique de la baie de Monastir (PNUE/PAM, CAR/ASP, 2014)
- Figure 9** : Ports de pêche de Skanes (à gauche) et Kahlia (à droite)
- Figure 10** : Carte présentant les 3 secteurs prospectés
- Figure11** : Prospection de la zone de « Ghdir » avec les lunettes de Calfat
- Figure 12** : Les paramètres mesurés dans un spécimen de *Pinna nobilis*
- Figure 13** : Histogramme de l'évolution du nombre de la population de la grande nacre au cours des années selon l'enquête
- Figure 14** : Histogramme de la présence de l'espèce en fonction de la profondeur
- Figure 15** : Histogramme de la présence de l'espèce en fonction du substrat
- Figure 16** : Histogramme de la présence de l'espèce en fonction de type de l'herbier
- Figure 17** : Carte géographique de la baie de Monastir avec les zones prospectées
- Figure 18** : Pollution de la zone de Ghdir
- Figure 19** : Carte géographique des zones de prospectées de la grande Kuriat
- Figure 20** : Carte géographique des zones prospectées de la petite Kuriat
- Figure 21** : L'état déplorable de l'herbier de posidonie dans la zone Dkhila (© NGB)

Figure 22 : Prospection par apnée dans l'herbier de posidonie dans la grande Kuriat (©NGB)

Figure 23 : Photo d'un juvénile *Pinna nobilis* prise dans la zone 2 en 2018 (prise par le plongeur Mahdi Aguir)

Figure 24 : *Caulerpa cylindracea* associée à l'herbier cymodocée dans la zone 2 petite Kuriat (© NGB)

Figure 25 : L'algue non indigène recouvre totalement les valves de la coquille de cet exemplaire de *Pinna nobilis* (d'après Vicente, 2016)

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classification de la grande nacre *Pinna nobilis*

Tableau 2 : Les zones de prospection par secteurs

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des données collectées à partir de l'enquête faite dans les ports

Tableau 4 : Evolution du nombre de la grande nacre au cours des années selon l'enquête

Tableau 5 : Caractéristiques environnementales enregistrées lors de la prospection du 1^{er} secteur

Tableau 6 : Caractéristiques environnementales enregistrées lors de la prospection du 2^{ème} secteur

Tableau 7 : Caractéristiques environnementales enregistrées lors de la prospection du 3^{ème} secteur

Tableau 8 : Présence de l'espèce en fonction de la profondeur

Tableau 9 : Présence de l'espèce en fonction du substrat

Tableau 10 : Présence de l'espèce en fonction de l'herbier



I. Introduction

Introduction

Depuis le siècle dernier, la Méditerranée a subi une importante détérioration anthropique. En effet, l'impact des concentrations des populations et des activités humaines autour du bassin méditerranéen représente aujourd'hui une importante menace pour les écosystèmes et les ressources marines. Ainsi, l'urbanisation, le tourisme, l'agriculture, la pêche abusive, les activités industrielles et les transports maritimes constituent les principales sources d'agression pour la Méditerranée et contribuent à la disparition de l'identité de cette Mer et de ses ressources (AEE, 1999).

Par conséquent, des écosystèmes et d'habitats sont en disparition continue. En effet, la pression anthropique conduit progressivement à la réduction de la biodiversité et au changement des communautés marines. Ainsi, de nombreuses espèces sont à présent menacées et leurs populations se sont réduites jusqu'à atteindre des niveaux alarmants(AEE,1999).

La grande nacre, *Pinna nobilis* (Linnaeus, 1758), est l'une de ces espèces menacées d'extinction. Il s'agit d'un mollusque bivalve endémique de la Méditerranée dont les fossiles datent du Miocène-Pliocène (Gómez-Alba, 1988).

Au cours des dernières décennies, les populations de *Pinna nobilis* ont été fortement menacées, principalement par la détérioration de leur biotope de prédilection, les herbiers à *Posidonia oceanica* (García-March, 2003).

Récemment, la densité de la population de la grande nacre *Pinna nobilis* en Espagne a chuté, provoquant des inquiétudes et un changement de statut de la catégorie «Vulnérable» à «En danger critique d'extinction» dans la liste rouge de l'IUCN des espèces avec un risque d'extinction grave (IUCN 2019b).La majorité des populations sont en fort déclin depuis le déclenchement d'un évènement de mortalité massive commençant le long des côtes espagnoles au début de l'automne 2016 (Vázquez-Luis et al., 2017).

Ces évènements se sont rapidement propagés vers l'Est de la Méditerranée à travers l'aire de répartition (Carella et al,2019). En effet, dans une courte période de temps de 18 mois, la mortalité de masse (figure 1) rapportée s'est étendue à de nombreuses populations de l'aire de répartition connue, depuis les populations

occidentales en 2016(Espagne, France, Italie, Tunisie) jusqu'à la Méditerranée orientale en 2018 (Malte, Grèce, Chypre et Turquie) (IUCN, 2018). En 2019, la mortalité de masse s'est étendue dans toute la mer Adriatique avec des rapports le long des côtes de l'Albanie et de la Croatie (IUCN, 2019a).

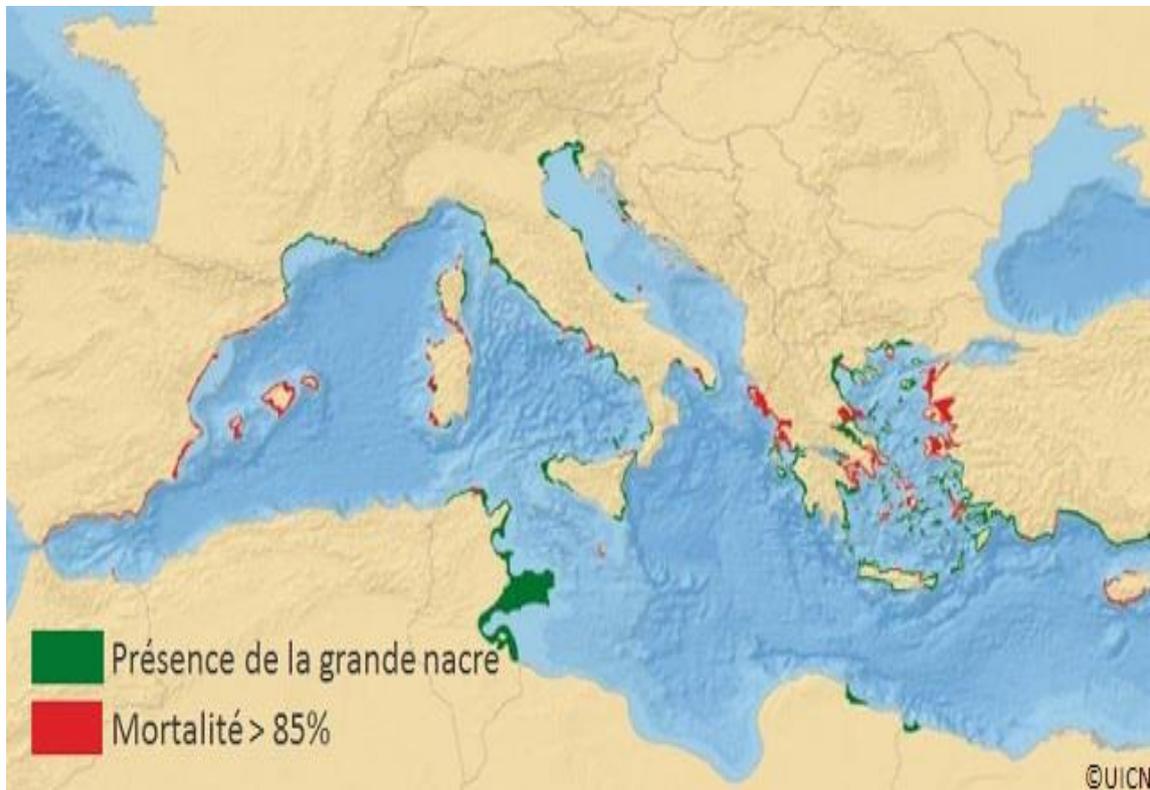


Figure 1 : Aire de répartition et de mortalité de la grande nacre dans la Méditerranée.

Initialement, les causes étaient inconnues, mais des preuves histologiques et moléculaires ont indiqué qu'un parasite *Haplosporidium pinnae* était très probablement responsable de la mortalité de masse (Catanese et al.,2018).

En terme d'impact de ces événements, Basso et ses collaborateurs (2015) ont noté qu'avant le premier événement de mortalité de masse, la densité moyenne de population de *P. nobilis* était de $9,78 \pm 2,25$ ind / 100 m^2 (\pm SE), avec des maxima allant jusqu'à 130 ind / 100 m^2 . Sauf que depuis les événements de mortalité de masse, la plupart des populations utilisées pour calculer ces valeurs de densité ont maintenant disparu (IUCN 2019a).

Gravement menacée, la *P. nobilis* a quasiment disparu de plusieurs endroits de son aire de répartition d'origine dans la partie occidentale de la Méditerranée et commence également à disparaître dans la partie orientale comme l'indique la carte suivante (IUCN, 2019a) :

Les connaissances concernant son statut et son éco-biologie demeurent, à ce jour, très peu nombreuses, bien que la présence de *Pinna nobilis* fût signalée sur la frange littorale de la Méditerranée méridionale. Sur le littoral tunisien, l'éco-biologie de ce mollusque bivalve a été étudiée aussi bien au niveau des îles Kerkennah (Tlig-Zouari, 1993) qu'au niveau des côtes Nord et Est du pays (Rabaoui *et al.*, 2008). Ces derniers travaux ont concerné la distribution, la densité et la croissance de *Pinna nobilis* ainsi que ses relations interspécifiques (faune endobionte) sur le littoral nord et Est de la Tunisie.

Notre travail s'intègre dans cette approche en s'intéressant à l'étude de *Pinna nobilis* dans la baie de Monastir, dans le cadre du projet "Le soutien à la gestion durable de l'Aire Marine et des zones Côtières Protégées des îles Kuriat (Tunisie)" soutenu par l'Association pour le Financement Durable des Aires Marines Protégées de Méditerranée (The MedFund) et les Fonds Français pour l'Environnement Mondial (FFEM), afin d'atteindre les objectifs suivants :

- ✓ Étude de la dispersion de *Pinna nobilis* dans la baie de Monastir et les îles Kuriat.
- ✓ Étude de l'état actuel de *Pinna nobilis* (sain/infecté, abondance...).
- ✓ Cartographier les zones les plus importantes de *Pinna nobilis*.



II. Synthèse

Bibliographique

1. Généralités sur l'espèce

1.1. Classification

La grande nacre, *Pinna nobilis*, est un mollusque aquatique appartenant à la famille des Pinnidés. La classification de cette espèce est résumée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Classification de la grande nacre *Pinna nobilis*

	Termes scientifiques	Termes en français	Description
Embranchement	Mollusca	Mollusque	Organismes non segmentés à symétrie bilatérale possédant un pied musculueux, une radula, un manteau sécrétant des formations calcaires (spicules, plaques, coquille) et délimitant une cavité ouverte sur l'extérieur contenant les branchies.
Classe	Bivalvia / Lamellibranchia / Pelecypoda	Bivalves / Lamellibranches / Pélecypodes	Mollusques aquatiques, filtreurs, au corps comprimé latéralement. Coquille composée de 2 valves articulées disposées de part et d'autre du plan de symétrie. Absence de tête, de pharynx, de radula et de glande salivaire.
Sous-classe	Pteriomorphia	Ptériomorphes	Muscle adducteur postérieur développé, antérieur réduit.
Ordre	Pterioida	Ptérioïdes	Animaux à coquille en forme d'ailes, souvent inéquivalves. Charnière sans dents. Animaux fixés ou libres.
Famille	Pinnidae	Pinnidés	Coquille enfoncée verticalement par l'extrémité pointue dans le sable ou la vase, et fixée par un byssus.
Genre	<i>Pinna</i>		
Espèces	<i>nobilis</i>		

1.2. Biologie de l'animal

1.2.1. Morphologie et anatomie

Pinna nobilis est le plus grand bivalve Méditerranéen et aussi l'un des plus grands bivalves dans le monde (figure 2). En effet, sa coquille peut dépasser un mètre de longueur antéropostérieure (Zavodniket *al.* 1991). La coquille de ce mollusque

benthique est triangulaire, avec une partie antérieure pointue (effilée) et réduite et une partie postérieure très développée, de forme large et arrondie.



Figure 2 : La grande nacre dans son habitat naturel

Les valves, dans la partie supérieure, sont épaisses et constituées par des cristaux de calcite. L'intérieur, fortement nacré, est de couleur jaune orangé à rouge (Vicente & Moreteau., 1991). La forme coquillière de ce bivalve est fortement influencée par une série d'adaptations en rapport avec son mode de vie. En effet, la réduction de la partie antérieure avec celle du muscle adducteur antérieur est en relation avec la fixation de l'animal dans le substrat, au moyen des filaments de son byssus (figure 3). Quant au développement du manteau avec celui de la partie postérieure de la coquille, ils peuvent être expliqués par les habitudes semi-infaunales de l'animal (García-March, 2005).



Figure 3 : Face droite de la coquille d'un spécimen de *Pinna nobilis*(A) ; L'intérieur de la coquille d'un spécimen de *Pinna nobilis*(B)(D'après Rabaoui, 2009)

L'anatomie de la grande nacre est assez similaire de celle d'une moule avec la présence des muscles adducteurs, la bouche sous forme de fente transversale, le tube digestif débouchant dans un estomac assez large et se terminant au cæcum (figure 4).

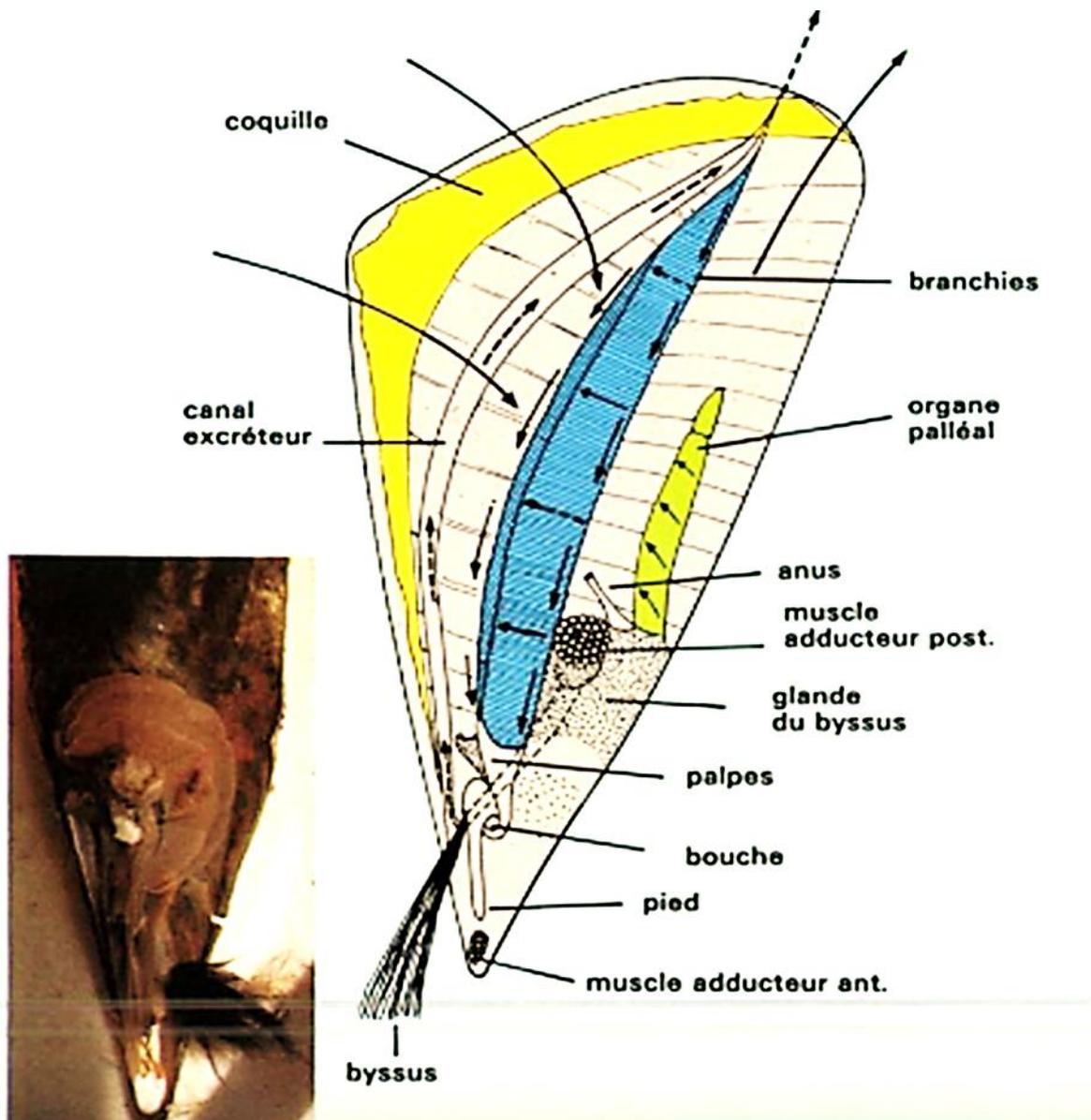


Figure 4 : Anatomie générale de la grande nacre et l'intérieur d'une valve avec l'animal entier (D'après Vicente, 2015)

1.2.2. Reproduction

Pinna nobilis est une espèce hermaphrodite. L'hermaphrodisme mis en jeu est de type successif à maturation asynchrone (De Gaulejac, 1995 ; De Gaulejac *et al*, 1995a & b). La couleur de la gonade varie individuellement d'orange clair à rouge brique et ne caractérise pas le sexe ou le degré de maturité de l'animal (De Gaulejac, 1993).

L'activité reproductive de *P. nobilis* se déroule du mois de mars au mois de septembre, en effet, le développement gonadique a été principalement observé au printemps, à partir du mois de Mai et au début de l'été (Acarli *et al.*, 2018). Au cours de cette période, la différenciation des gamètes mâles et femelles s'effectue à partir des protozoaires situées sur les parois internes des acinus (De Gaulejac, 1995 ; De Gaulejac *et al.*, 1995a & b). Le faible échantillonnage (6 individus) et le peu d'individus jeunes prélevés n'ont pas permis à ces auteurs de déterminer l'âge de la première maturité sexuelle, ni de déceler la prépondérance d'une première phase sexuelle par rapport à une autre en effet De Gaulejac (1993) a décrit les étapes d'évolution sexuelle de *P. nobilis* à Port-Cros (France) comme suit :

- Un repos sexuel d'octobre à mars,
- Une reprise de l'activité sexuelle en mars avec déroulement de la gamétogenèse de mars à juin,
- Une succession d'émissions gamétiques alternées et de gamétogenèses rapides de juin à août,
- Une dernière maturation partielle en septembre avant le retour en phase de repos sexuel.

Une étude récente par contre, a pu corrélérer les valeurs de rendement en muscles aux différents stades d'évolution sur 120 spécimens, dont le maximum a été trouvé chez les spécimens matures au début de la période de frai, de mars à juin et qui diminue rapidement après cette dernière. De plus, les valeurs les plus faibles de l'indice du muscle adducteur ont été observées d'août à septembre, lorsque la plupart des spécimens étaient en période de repos (Acarli *et al.*, 2018).

La fécondation des ovocytes de *P. nobilis* est externe, elle se fait en pleine eau (Vicente, 1986). A l'éclosion, l'œuf obtenu donne une larve véligère (Butler *et al.*, 1993). La durée de vie d'une larve de *P. nobilis* est comprise entre 5 et 10 jours (De Gaulejac, 1993 ; De Gaulejac & Vicente, 1990). La larve véligère donnera un jeune naissain qui se fixe dans le sédiment. Les juvéniles obtenus continuent à se développer par le phénomène de croissance jusqu'à atteindre le stade adulte (Butler *et al.*, 1993). La courte période de vie planctonique suggère que la capacité de dispersion de la larve

est réduite et que la colonisation des milieux distants n'abritant pas l'espèce se fait très lentement (Butler *et al.*, 1993). L'évolution du cycle sexuel chez *Pinna nobilis* dépend de plusieurs facteurs exogènes, à savoir la température qui constitue le facteur le plus important. En effet, l'activité génitale ne se déclenche que lorsque la température est supérieure à 14° C environ (De Gaulejac., 1993 ; Acarli *et al.*, 2018).

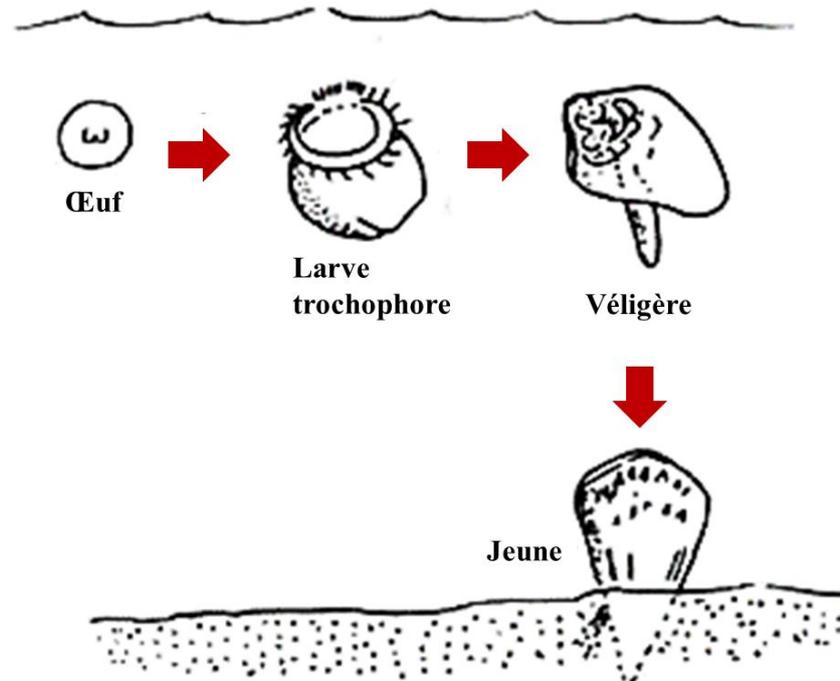


Figure 5 : Etapes de développement de *Pinna nobilis* (d'après Vicente, 1986)

1.2.3. Croissance

Les taux de croissance de cette espèce sont assez élevés au cours des premières années de vie, mais plus l'espèce se développe ce taux tend à se baisser (Kersting et García-mars 2017). En effet, des études ont montré que le taux de croissance de cette espèce est de l'ordre de 0,26 à 0,32 mm jour⁻¹ pendant la première année de vie (Hendriks *et al.*, 2012 ; Trigos *et al.*, 2015 ; Kersting et García-March, 2017), alors qu'il est de 7,8-7,9 mm mois⁻¹ pendant les deuxièmes années de vie (Kersting et García-March, 2017).

Katsanevakis (2007) a signalé un pic des taux de croissance dans le lac Vouliagmeni (Grèce) entre 9 et 11 mois, suivi d'une baisse avec l'âge. Dans la même étude, une saisonnalité des taux de croissance a été observée, avec les taux de croissance les plus faibles pendant la saison froide (novembre – mi-mars) et pendant le

pic de température en août (avec des températures dépassant 29 ° C). Les taux de croissance les plus élevés ont été notés à la fin du printemps et au début de l'été (Katsanevakis, 2007).

Les taux de croissance en laboratoire semblent être plus faibles, de l'ordre de 0,18mm jour⁻¹ pour l'équipe de Hendriks et *al.*(2012), bien que Trigou et ses collaborateurs (2015), ont signalé des taux de croissance en laboratoire de 0,26 mm jour⁻¹, et après neuf mois d'élevage, ils ont atteint une taille moyenne de 96,7 ± 14 mm, gagnant ainsi 70,4 ± 10,6 mm, ce qui est similaire à celui enregistré pour le même dans des conditions naturelles (Kožul et *al.* 2012).

1.2.4. Ecologie et milieu de vie

La grande nacre est un bivalve à longue durée de vie qui se trouve dans les zones côtières, entre 0,5 et 60 m de profondeur. Les prairies à *Posidonia oceanica* sont décrites comme le principal habitat de *P. nobilis* (Basso et *al.*, 2015b ;Deudero et *al.*, 2015), bien qu'elles se trouvent également dans les prairies de *Zostera marina* et *Cymodocea nodosa* (Kersting et García-March, 2017).

De plus, l'espèce est également connue pour former de vastes populations sur le sable nu (Katsanevakis 2007, Rabaoui et *al.*, 2007), fonds de maërl (Kersting et García-mars 2017), parmi les rochers (Kersting et García-mars 2017) ou même dans les crevasses remplies de sédiments et les espaces dans les épaves de navire. Elle est généralement absente dans les zones où il y a des perturbations sévères des sédiments (Butler et *al.*,1993, Katsanevakis, 2005).

L'hydrodynamique semble être un facteur déterminant dans l'écologie de *P. nobilis*, affectant les paramètres de la population en influençant la disponibilité de la nourriture et en réduisant la survie en délogeant et en tuant des individus en raison de l'action des vagues (García-March et *al.*, 2007 ; Coppa et *al.*, 2013).

En plus, les populations de cette espèce ont été décrites comme une méta-population avec une dynamique source-puits, c'est-à-dire avec des zones comme le delta de l'Èbre (Espagne) agissant comme source larvaire et d'autres comme Alicante (Espagne) agissant comme populations puits (Wesselmann et *al.*,2018).

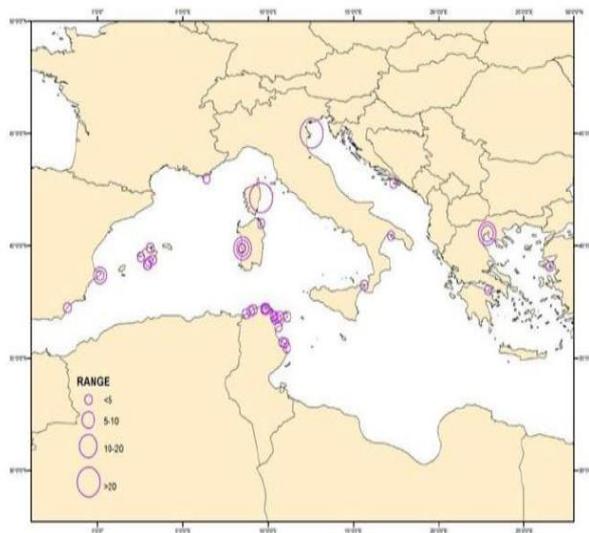


Figure 6 : Densités des populations de *Pinna nobilis* dans le Bassin méditerranéen (d'après García- March and Kersting, 2006)

1.2.5. Régime alimentaire

D'après Butler *et al.*, (1993), *P. nobilis* est un suspensivore adapté à des milieux pauvres en nutriments et qui se rencontre généralement dans les zones où les eaux sont propres. Elle est, par contre, absente dans les secteurs où il y a des perturbations importantes du sédiment.

La nourriture de *Pinna nobilis* est constituée essentiellement par les particules en suspension, organiques ou minérales. Les grandes nacres sont en effet des filtreurs comme les moules ou les huîtres. Tous ces animaux (« Lamellibranches ») possèdent des branchies respiratoires lamelleuses et striées qui favorisent aussi la circulation de ces particules jusqu'à la bouche.

Le plancton végétal (Phytoplancton), représenté par de nombreuses espèces d'algues microscopiques, est très apprécié, à condition que leur taille corresponde au diamètre de la bouche (quelques dizaines de microns).

2. Les menaces et les risques

La longévité des adultes peut dépasser les quarante ans (Rouanet *et al.*, 2015). En effet, la vie sédentaire, fait de cette espèce de bivalve un enregistreur des variations des paramètres du milieu beaucoup plus fiable qu'une moule qui vit moins longtemps et

qui se développe bien en milieu pollué, essentiellement sur substrat dur. Sa présence n'est pas un indice de bonne qualité du milieu, contrairement à la nacre. En plus de l'exploitation humaine, l'espèce est menacée par de nombreux facteurs de stress cumulatifs, tels que la perte des herbiers marins, la pollution marine, l'ancrage des bateaux, les pratiques de pêche destructrices, les espèces envahissantes et les changements climatiques (Basso et *al.*,2015).

a) La pêche et la plongée

Pinna nobilis est une ressource précieuse pour l'exploitation humaine depuis les premiers temps des Égyptiens et des Romains. Les fils de byssus "soyeux" produits par *P. nobilis* qui fixent le bivalve au substrat ont été utilisés et échangés pendant des millénaires pour produire des textiles de la plus haute valeur (Campi, 2004).

Des tissus précieux et chers ont été obtenus à partir des fils de byssus qui étaient censés être utilisés pour décorer des tissus et des vêtements qui étaient faits avec ostentation, ce qui en fait de véritables symboles de statut appréciés par les figures les plus influentes des personnages babylonien, assyrien, phénicien, juif, grec et enfin les Romains (Maeder et *al.*, 2004).

Les fils de byssus avaient également des propriétés thérapeutiques bien connues des pêcheurs car, grâce à leurs puissantes propriétés hémostatiques, ils étaient utilisés pour panser des plaies que les pêcheurs obtenaient fréquemment avec des outils de pêche. Dans le passé, les fils de byssus étaient obtenus en pêchant *P.nobilis*, mais aujourd'hui très peu de gens ont les compétences pour suivre cette tradition et sont capables de travailler le byssus, pour produire ce matériau de texture, similaire à la soie (Lavazza 2012, 2014).

En tant que source de nourriture, *P. nobilis* a été couramment utilisée dans la cuisine traditionnelle dans certaines régions méditerranéennes et malgré son statut actuellement protégé, la coquille du stylo est toujours commercialisée illégalement dans les restaurants grecs de fruits de mer (Katsanevakis et *al.*,2011) et occasionnellement à Chypre dans le milieu familial domestique des pêcheurs et des plongeurs (Jiménez, 2018).

De même, Öztürk et *al.* (2004) ont rapporté l'utilisation du muscle adducteur postérieur comme fruits de mer et appâts en Turquie. En Algérie, *P. nobilis* est également commercialisé pour être utilisé comme décoration (comme lampadaire ou pour servir des fruits de mer dans les restaurants) (Benabdi,2018).

Longtemps, l'espèce a été exploitée à des fins domestiques et industrielles dans certaines régions méditerranéennes (Italie du Sud, Ile de Malte, Yougoslavie). Mais cette exploitation a été effectuée le plus souvent sans aucune véritable gestion, et les populations ont commencé à régresser, y compris lorsqu'il existait une réglementation comme sur les côtes de Croatie (Zavodniket *al.*, 1991).

Elle a été exploitée pour sa coquille et son byssus, et aussi prélevée de façon abusive par les plongeurs. En effet, avec le développement de la plongée en scaphandre autonome, la Pinna est devenue un trophée pour les plongeurs qui n'y voient qu'un objet de souvenir et de décoration, alors que c'est une des plus nobles espèces animales, et sa disparition va souvent de pair avec la désertification des lieux où elle vit (Zavodniket *al.*, 1991).

b) La pollution et le rejet de l'eau usée

Les eaux usées, peu ou mal épurées, rejetées en zone littorale par les égouts urbains, directement à la côte, porté par ou à travers les petits fleuves côtiers, le lessivage des sols agricoles, ont également entraîné la régression des herbiers de posidonie ou cymodocée (l'habitat principale de la grande nacre). Leurs principes nocifs (produits chimiques, pesticides, nitrates) ont provoqué la destruction des œufs, des embryons et des larves de nombreux animaux marins (Vicente, 1983), dont vraisemblablement ceux de la grande nacre, au même titre que d'autres mollusques bivalves.

Durant l'été, la période de reproduction de la grande nacre, des *Pinna nobilis* en cours d'expérimentation dans des bassins alimentés avec l'eau des aquariums de l'Institut Océanographique Paul Ricard, n'ont pas émis leurs produits génitaux durant toute cette période. Des observations d'ovocytes obtenus par biopsies, montrent un blocage de ceux-ci en début de phase de maturation. Par ailleurs, la coquille de nombreux individus est déformée dans la partie antérieure, et ne se referme plus, et

enfin celle d'un individu mort présente un phénomène de chambrage très net (Vicente et al., 2016).

c) Les maladies

Depuis l'automne 2016, une nouvelle menace vient s'ajouter à cette longue liste de d'agents de stress cumulatifs. Un nouveau parasite d'origine inconnue, nommé *Haplosporidium pinnae* (Catanese et al., 2018), a provoqué un évènement de mortalité de masse (MME) en Méditerranée occidentale. Cette dernière serait en raison d'une forte réponse inflammatoire de l'hôte et d'un dysfonctionnement général grave. En juin 2017, environ 90% des populations espagnoles de *P. nobilis* avaient disparu et les taux de mortalité atteignaient 100% sur les côtes sud et centrale de la Méditerranée de la péninsule ibérique et des îles Baléares (Vázquez-Luis et al., 2017).

Par la suite, une forte mortalité dans les populations de la grande nacre a également été observée sur les côtes italienne et française (Catanese et al., 2018). En réponse à ce MME, *P. nobilis* a été déclarée en danger critique d'extinction en Espagne (IUCN, 2019b).

H. pinnae semble être très spécifique. En effet, elle a seulement infecté les populations de *Pinna nobilis*, car l'espèce congénérique *Pinna rudis* n'a pas été affectée dans les zones touchées, alors que les deux espèces existent ensemble dans la même zone (Vázquez-Luis et al., 2017). Lorsqu'elles sont infectées dans leur environnement naturel, les grandes nacres présentent une rétraction du manteau, aucune réaction aux stimuli et des valves ouvertes, car elles ne sont plus capables de fermer leurs coquilles. La mort est attribuée au blocage direct de la glande digestive par le parasite et à la famine subséquente du bivalve. Une fois qu'une population est infectée, la probabilité de survie de tout individu est très faible.

Ce protiste, appartenant à l'ordre des Haplosporida, comprend plus de 50 espèces décrites classées dans les genres *Haplosporidium*, *Minchinia*, *Bonamia* et *Urosporidium* (Arzul et Carnegie, 2015 ; Azevedo et Hine, 2017).

Ces espèces sont généralement des parasites pour les invertébrés aquatiques et peuvent être hautement pathogènes. Par exemple, les haplospori dans *Haplosporidium*

nelson, *Bonamia ostreae* et *B. exitiosa* auraient provoqué des mortalités massives chez diverses espèces d'huîtres (Ford et Tripp 1996 ; Engelsma et al.,2014). On sait peu de chose du parasite, sauf que sa prolifération s'accroît avec le réchauffement de la température de l'eau et qu'il attaque les glandes digestives de la nacre (Catanese et al., 2018).

3. Importance écologique de l'espèce

P.nobilis est une espèce indicatrice de la bonne qualité des eaux littorales au même titre que l'herbier de Posidonie qui est son habitat de prédilection. C'est un coquillage bivalve quia une grande longévité (plus de 40 ans), et qui de ce fait, constitue un enregistreur des paramètres physiques, chimiques et biologiques du milieu au cours du temps.

L'animal va aussi filtrer des grandes quantités d'eau qu'il épure avant de la rejeter hors de sa coquille. Un bivalve comme la moule peut filtrer jusqu'à 100 litres d'eau par jour alors qu'une grande nacre de 50 cm est capable de filtrer jusqu'à 200 litres d'eau de mer par jour (Vicente, 1990).

En plus de la filtration, cette espèce est capable de retenir des grandes quantités de la matière organique et des détritux en suspension, réduisant ainsi la turbidité (Trigos et al.,2014).Fournissant un substrat dur colonisé par de nombreux épibiontes dans les habitats à fond mou (Addis et al., 2009; Rabaoui et al., 2009), à une grande densité de population, cette espèce joue le rôle d'un ingénieur d'écosystème capable de créer des récifs biogéniques (Katsanevakis, 2016).

4. La présence de *P. nobilis* en Tunisie

Sur le littoral tunisien, les études effectuées sur *P.nobilis* sont rares et concernent toutes les îles Kerkennah (Tlig-Zouari, 1993 ; Soufi-Kechaou, 2004) où le mollusque vit au sein des herbiers de *P. oceanica* avec une densité de l'ordre de 5 individus m⁻².

En 2008, la distribution de la grande nacre, sur les côtes Nord et Est de la Tunisie, a été établie (Rabaoui et al, 2008). Dans cette région, *Pinna nobilis* a été rencontrée aussi bien en milieu marin qu'en milieu lagunaire, avec une densité moyenne comprise entre 0,02 et 20 individus au 100m⁻². Elle se rencontre

généralement, dans un substrat le plus souvent sablo-vaseux, au sein soit des prairies mixtes des phanérogames marines à *Posidonia oceanica* et *C. nodosa*, soit uniquement dans les prairies de *C. nodosa* (Rabaoui et al., 2008).

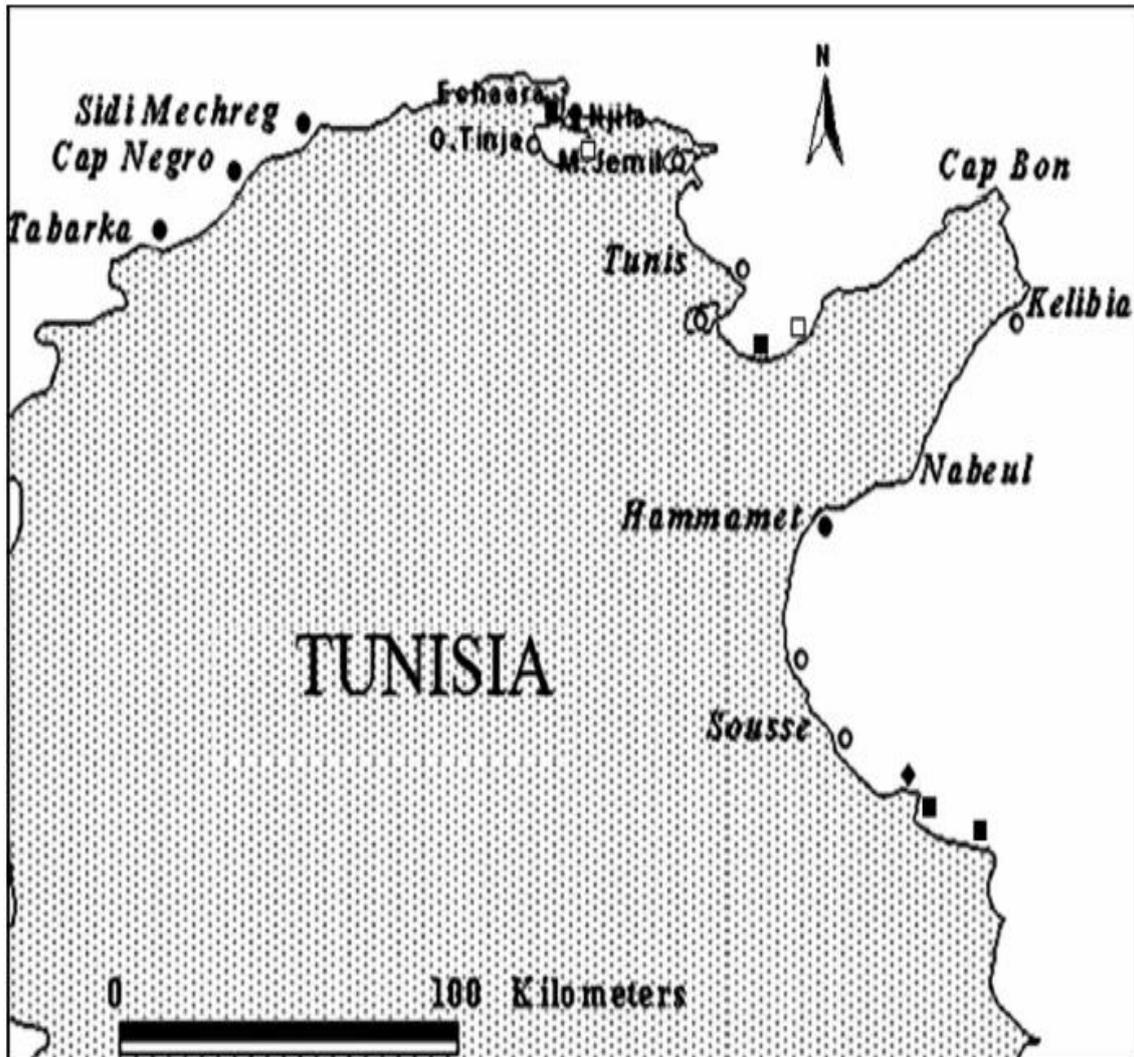


Figure7 : Distribution de population de *P.nobilis* en Nord et Nord Est de la Tunisie 2008

(○ Densité nulle ; ● Densité Faible ; □ Densité moyenne ; ■ Densité élevée ; ◆ Densité très élevée) (D'après Rabaoui et al., 2008)

L'Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral (APAL) a organisé en 2018 à Monastir un atelier de lancement du premier réseau tunisien pour la surveillance et le sauvetage de la grande nacre (*Pinna nobilis*) et ce, avec l'appui du Centre d'Activité Régionales pour les Aires Spécialement Protégées (CAR/ASP) et l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (IUCN), sauf que faute d'activation du réseau, il n'avait pas eu de résultats jusqu'à aujourd'hui.



*III. Zone d'étude,
Matériel,
& Méthodes*

1. La zone d'étude

La baie de Monastir appartient à la partie centrale de la côte Est du littoral tunisien. Elle est située entre les latitudes $35^{\circ}47'N$ et $35^{\circ}37'N$ et entre les longitudes $10^{\circ}45'E$ et $11^{\circ}50'E$. Elle est fermée 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 Teboulba qui se prolonge jusqu'aux îles Kuriat.

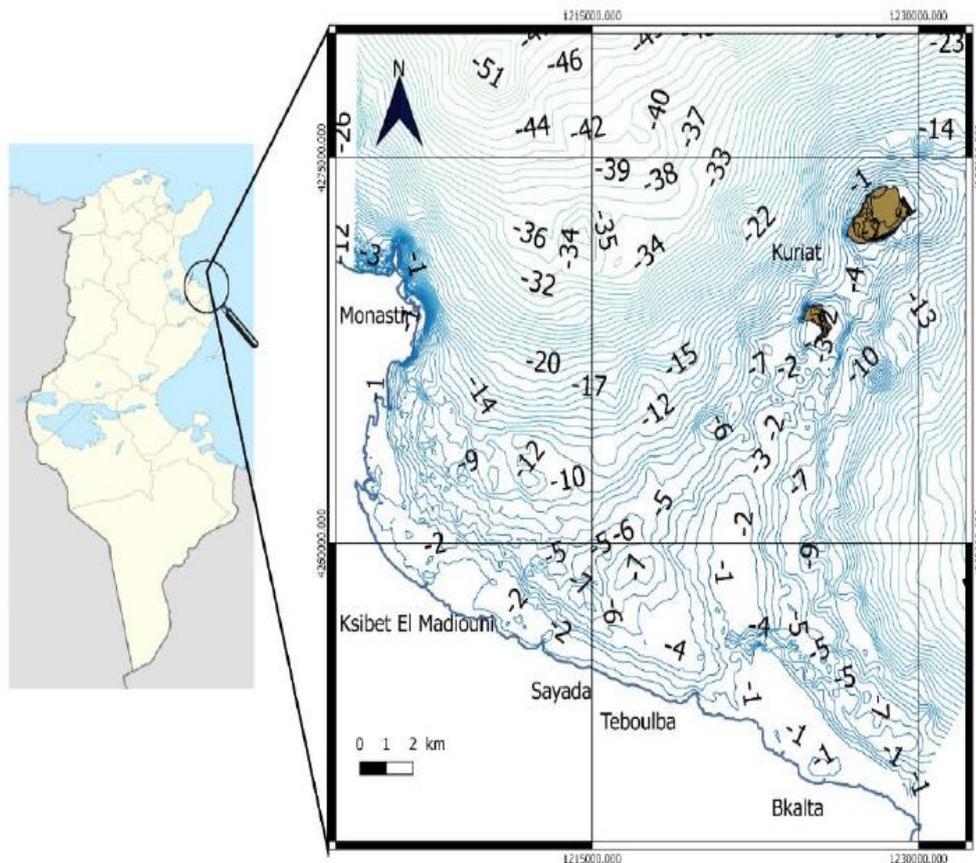


Figure8 : La carte géographique et bathymétrique de la baie de Monastir (PNUE/PAM, CAR/ASP, 2014)

La baie de Monastir s'étale sur 5 délégations abritant chacune un port de pêche (Bekalta – Teboulba – Sayada – Ksibat El Madiouni– Monastir). Elle s'étend sur 64 km, de l'Oued Hamdoun à Bekalta. Elle se distingue par sa faible bathymétrie où la profondeur n'excède pas les 40 m (figure 9). La carte bathymétrique montre au niveau de la Baie de Monastir l'existence d'un haut fond dans sa partie sud-est : le Haut fond de Teboulba, qui se prolonge vers les Iles Kuriat. Ceci se traduit par une déclivité bathymétrique de la Baie de Monastir au niveau de sa direction nord-est(PNUE/PAM,

CAR/ASP, 2014). Les fonds les plus proches de la côte sont généralement sablo-vaseux à vaseux et sont en grande partie recouverts d'une pellicule vaseuse noire, très souvent putride (Thétis, 2014).

Le développement d'activités dans les zones côtières de la baie de Monastir (industrie de pêche, aquaculture, tourisme, urbanisation...) a créé des opportunités économiques, mais il a aussi affecté le fonctionnement de l'écosystème :

- La destruction de la flore et de la faune benthiques pouvant être occasionnée par les mouillages forains (destruction par les ancres).
- La pisciculture intensive, du fait de la pollution organique qu'elle occasionne, si elle devait s'établir sur le site constituerait une grave menace à l'encontre des biocénoses et des paysages sous-marins.
- L'introduction de nouvelles espèces, ceci concerne pour l'essentiel des espèces invasives (Thétis 2014).

Les îles Kuriat sont deux petits îlots distants de 2 Km, situées dans la baie de Monastir à 18 Km de la côte. Au large de la partie nord et rocheuse des deux îles, des formations de maërl, à des profondeurs très faibles, sont considérées comme très rares et très vulnérables à l'échelle méditerranéenne. Ces îles constituent une escale migratoire pour une avifaune d'importance internationale, comme le goéland railleur, classé comme espèce vulnérable. De plus, elles constituent l'un des sites de nidification de la tortue Caouanne les plus occidentaux mais très menacés en Méditerranée (fréquentation induite par la proximité de Monastir, le tourisme et par la pêche côtière), et de ce fait constitue un écosystème vulnérable (Bradai et *al.*, 2004).

L'herbier à *Posidonia oceanica*, considéré comme habitat prioritaire dont la conservation est nécessaire, est un écosystème très bien représenté autour de l'Archipel de Kuriat où il s'étend entre 0 et 27 m (Ben Mustapha, 1992 ; PNUE/PAM-CAR/ASP, 2008, 2010 et 2011). Sur les fonds meubles, l'herbier couvre la quasi-totalité du périmètre des îles. La densité des faisceaux oscille entre 600 et 700 faisces./m², avec un recouvrement inférieur à 70 % et des feuilles assez courtes (70 cm). Cependant, étant donné l'excellent éclaircissement et la transparence de l'eau, ces

densités restent modestes en comparaison avec d'autres régions de la Tunisie ce qui peut être dû à l'impact des méthodes de pêche aux arts traïnants sur le fond, le chalutage, la pollution, le mouillage, etc. (Rezgani, 2013).

Par ailleurs, les études réalisées par le CAR/ASP et l'APAL ces dernières années (2008, 2010 et 2011) ont pu mettre en évidence la présence de récifs-barrières à *Posidonia* dans quatre zones au voisinage des îles Kuriat : au Sud- Ouest et au Sud- Est de la grande Kuriat et à l'Est-Sud-Est et à l'Ouest-Sud-Ouest de la petite Kuriat. Ajoutés à cela, des fonds à maërl sont présents au Nord de la grande Kuriat et à l'Est de la petite Kuriat.

Bien que la zone dispose du statut de « zone sensible littorale » selon la loi du 6 juillet 2009 et offre un cadre juridique permettant l'établissement d'une Aire Marine Protégée (AMP) aux îles Kuriat, ces dernières sont sélectionnées pour bénéficier du statut d'Aire Protégée Marine et Côtière (APMC) par le programme national de création d'aires protégées marines et côtières en Tunisie.

2. Méthodes d'observation et monitoring

A. Enquêtes avec les plongeurs chasseurs et les pêcheurs

Afin de pouvoir choisir les sites d'études, une identification préalable à travers une enquête a été effectuée. Un simple questionnaire a été élaboré autour de la question principale : Avez-vous vu ou capturé cette espèce (*Pinna nobilis*) avec d'autres questions supplémentaires pour mieux comprendre l'emplacement et la nature d'habitat où elle existe selon leurs réponses. L'étude visait les pêcheurs locaux ayant plus de dix ans d'expérience en mer comme critère de sélection. Les pêcheurs ont été enquêtés au cours de leurs activités sur les quais(en nettoyant les filets dans les ports ou en réparant leurs bateaux).

Le même questionnaire a été présenté à un groupe de 13 plongeurs chasseurs qui sont habitués à pratiquer la chasse en apnée dans la baie de Monastir et autour de l'archipel Kuriat. Le but principal de ce questionnaire est d'essayer de localiser les emplacements possibles où la *Pinna nobilis* pourrait s'y être ainsi que son état (voir l'annexe 1).

Afin d'atteindre cet objectif, deux ports ont été choisis, à savoir le port de pêche de Skanes et le port de pêche de Kahlia (figure 9).

Nos cibles, les pêcheurs dans les deux ports, pratiquent souvent la pêche autour des îles Kuriat.



Figure 9 : Ports de pêche de Skanes (à gauche) et Kahlia (à droite)

B. La prospection sur terrain

Pour évaluer les résultats des enquêtes, une vérité terrain a été obtenue via 20 missions de prospections réalisées, à raison d'une ou deux campagnes par site et à des profondeurs allant de 0 à 10 mètres. Au total, 15 sites appartenant à 3 secteurs différents du littoral de la baie de Monastir ont été prospectés au cours de la période allant de mai à juillet 2020, et dont les cartes ont été faites (figures 10, 11, et 12).

Tableau 2 : les zones de prospection par secteur

Secteur	Nombre de zones par secteur	Type de plongée
Baie de Monastir	4 zones	Apnée
Grande Kuriat	7 zones	Plongée par bouteille + apnée
Petite Kuriat	4 zones	Plongée par bouteille + apnée

Les points GPS prospectés ont été choisis en se basant sur les réponses des plongeurs et des pêcheurs dans le questionnaire effectué.

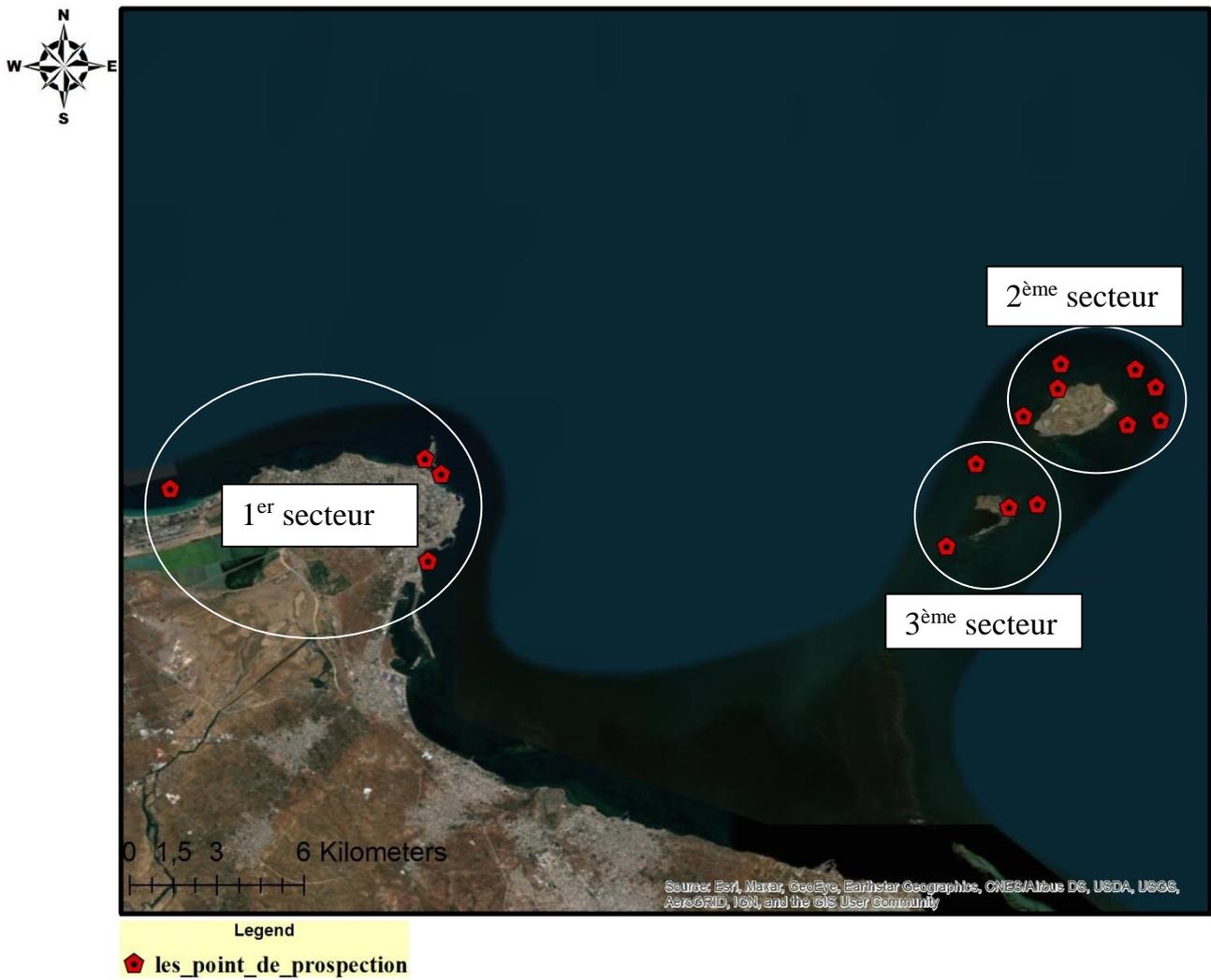


Figure10 : Carte présentant les 3 secteurs prospectés

Toutes les missions ont été assurées en apnée, sauf pour le site du port « Ghdir », où les observations ont été faites à l'aide de lunettes de Calfat (figure 11).



Figure11 : Prospection de la zone de « Ghdir » avec les lunettes de Calfat

C. Estimation de la densité de la population

Des sites différents ont été choisis dans la baie de Monastir et aussi aux îles Kuriat. Dans ce travail, nous avons mis en place un protocole de surveillance, pour étudier l'état actuel de l'espèce *Pinna nobilis*. Pour cela, deux méthodes peuvent être utilisées :

- a) L'estimation de la densité a été réalisée au moyen de transects. Deux transects ont été effectués dans chaque site. Il s'agit de fixer une corde de 100 m de longueur, perpendiculairement ou parallèlement à la côte, suivant la répartition des spécimens de *Pinna nobilis*. Deux plongeurs font le comptage des *Pinna* vivantes rencontrées, au sein des couloirs de 2 m de largeur, de part et d'autre de la radiale. Ainsi, la densité de *P.nobilis* est déterminée dans une surface de 400 m² pour chaque transect :

$$\text{Densité de } P. \text{ nobilis} = 100 \times (2 \times 2) = 400 \text{ m}^2$$

Quant à la densité moyenne de chaque site, elle est exprimée en (ind/100 m²) et obtenue en divisant la somme des spécimens, recensés dans les deux transects réalisés au niveau du site considéré, par le nombre de secteurs (zones) étudiées (Rabaoui et *al.*, 2008).

- b) La deuxième méthode adoptée pour évaluer la densité des individus consiste à compter le nombre des individus vivants dans un cercle de 20 m de diamètre subdivisé en secteurs égaux. Dans chaque secteur, le nombre (N) de *P.nobilis* vivants et morts a été compté. La densité estimée est le rapport des individus vivants par surface prospectée rapporté sur 100 m². Une densité moyenne a été calculée pour chaque station entre les secteurs (zones) prospectés. Le pourcentage de mortalité est supposé être le taux d'individus morts observés par station (Rabaoui et *al.*, 2008).

D. Biométrie des individus

Puisque *Pinna nobilis* est classée comme étant une espèce en danger critique d'après l'IUCN dans sa liste rouge des espèces, il est donc strictement interdit de

ramasser les spécimens, même pour faire un échantillonnage pour les recherches scientifiques. C'est pour cette raison, seules les coquilles mortes sont collectées et analysées au laboratoire. Les coquilles seront séparées en trois catégories, à savoir, les *coquilles intactes*, *coquilles portant des traces de prédation* (trous sur les valves) et *coquilles brisées*. Seuls les biens conservés seront utilisées pour l'étude biométrique.

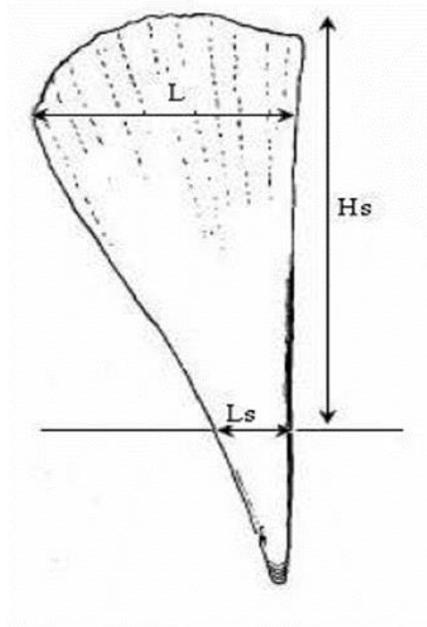


Figure 12 : Les paramètres mesurés dans un spécimen de *Pinna nobilis*

(**Hs** : hight from sediment ; **L** :largest width ; **Ls** : Width at the sediment)

Une fois le spécimen échantillonné, des mesures doivent être prise telles que la hauteur au sédiment (**Hs** pour « High from sediment »), la plus grande largeur de la coquille (**L** pour « Largest width ») et la plus petite largeur au niveau du sédiment (**Ls** pour « Width at the sediment ») en utilisant un mètre ruban comme l'indique la figure12.

3. Etablissement des cartes de distribution de *Pinna nobilis* dans la baie de Monastir et l'AMCP Kuriat

Pour cette étape le logiciel « Arc GIS » a été utilisé. Il s'agit d'un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. En tant que principale plateforme de développement et d'utilisation des systèmes d'informations géographiques (SIG) au monde, il est utilisé par des personnes du monde entier pour mettre les connaissances géographiques

au service du gouvernement, des entreprises, de la science, de l'éducation et des médias, les zones de prospection.



IV. Résultats & Discussion

1. Analyse des enquêtes

L'analyse suivante est basée sur les données obtenues précédemment à partir du questionnaire effectué au groupe des plongeurs et pêcheurs. Les détails sont mentionnés dans l'annexe 2.

a) Analyse de la présence de l'espèce au cours des années

Parmi les vingt enquêtes réalisées, nous avons pu en extraire des informations intéressantes autour de l'évolution de la population de la grande nacre, comme le montre l'histogramme de la figure 13:

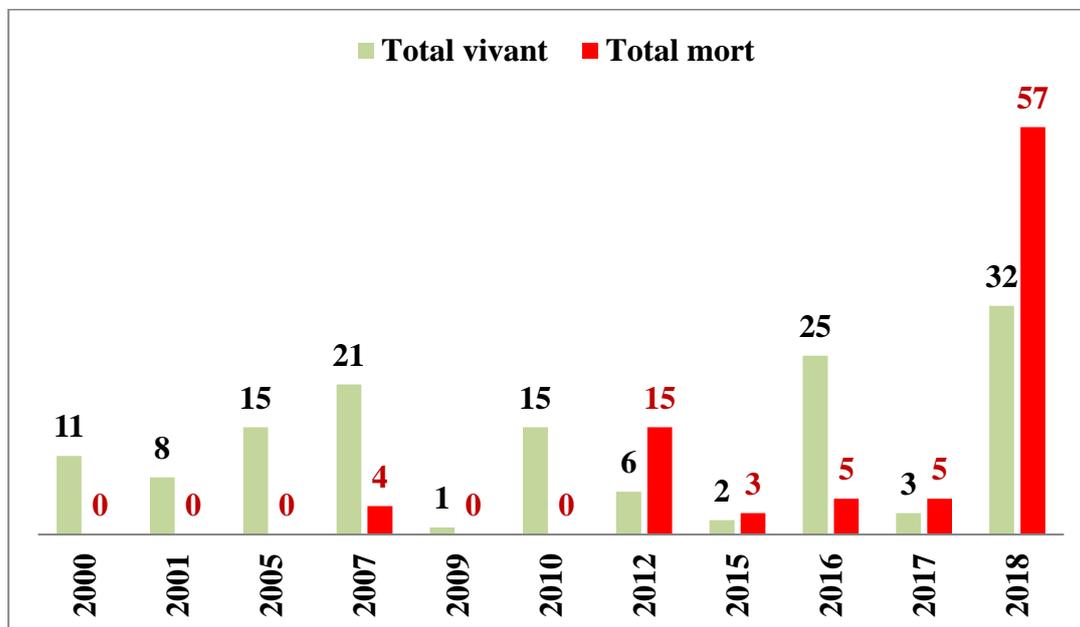


Figure 13 : Histogramme de l'évolution du nombre de la population de la grande nacre au cours des années selon l'enquête

L'histogramme montre bien une dégradation au niveau des populations de *Pinna nobilis* au cours des années, bien que le nombre de spécimens observés ne fût pas aussi important. On remarque que le nombre des spécimens vivants est en déclin, alors qu'il y a une augmentation énorme dans le nombre de ceux morts dans la baie de Monastir. D'ailleurs, selon les paroles d'un des plongeurs chasseurs enquêtés, « au cours de ces deux couples d'années, les plongeurs sont plus susceptibles de voir et d'identifier des spécimens de *P. nobilis* morts que vivants » (communication personnelle).

Il faut noter que pour l'année 2018, l'un des plongeurs a affirmé voir 20 spécimens, ce qui explique la hausse du nombre des individus, mais en même temps, une augmentation de la mortalité.

b) Analyse de la présence de l'espèce selon les caractéristiques de l'habitat

Les espèces marines, en général, habitent là où les conditions environnementales leur sont le plus favorable. Leur répartition dépend donc essentiellement des facteurs environnementaux (la nature du fond, les types d'habitats, la température, etc.). A cet effet, et pour mieux comprendre la distribution des individus de la grande nacre et son état, nous avons demandé aux personnes concernées les caractéristiques des habitats où ils auraient observé cette espèce. Les histogrammes suivants (figures 14, 15 et 16) illustrent les principaux résultats.

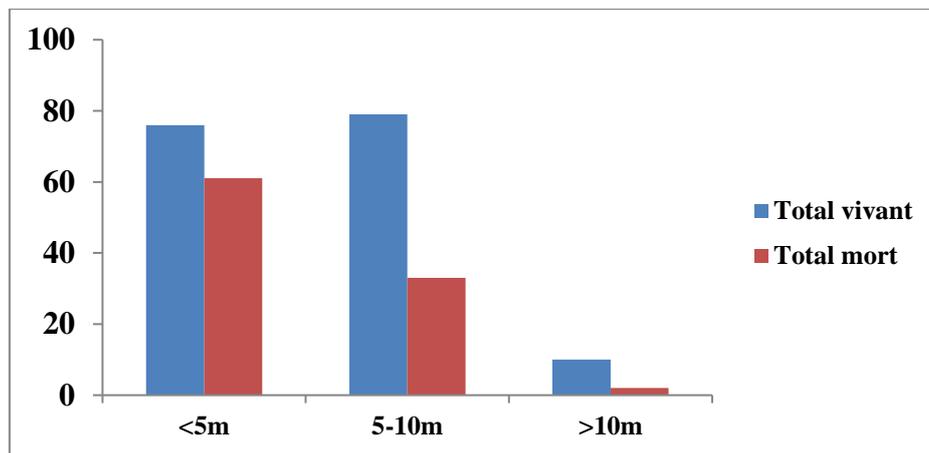


Figure14 : Histogramme de la présence de l'espèce en fonction de la profondeur

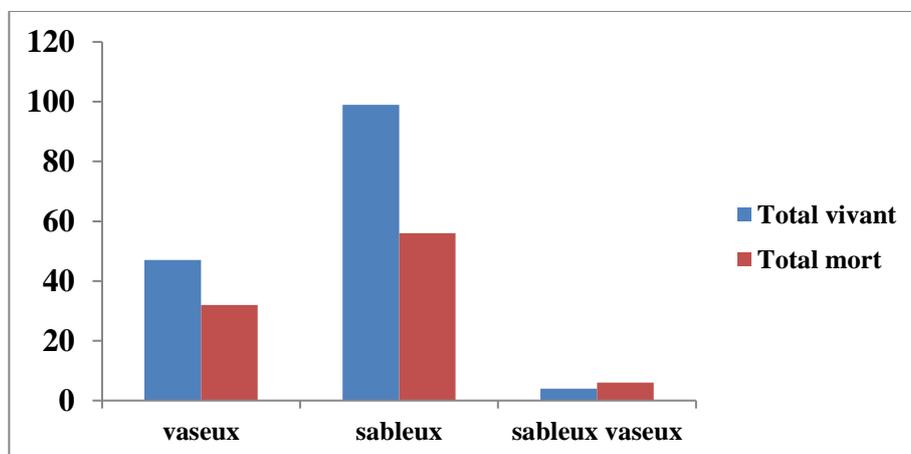


Figure 15 : Histogramme de la présence de l'espèce en fonction du substrat

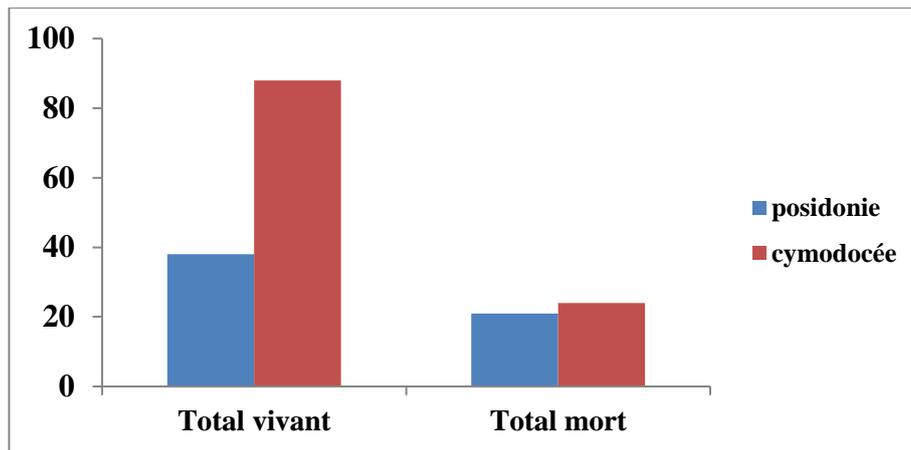


Figure 16 :Histogramme de la présence de l'espèce en fonction de type de l'herbier

D'après le graphe 14, il semblerait que l'espèce *Pinna nobilis* préfère vivre dans des zones pas très profondes, soit à des profondeurs inférieures à 10 mètres. Il faut noter qu'il existe des populations qui vivent dans des profondeurs dépassant les 50 mètres, comme celles au Chypre, mais ce type de population n'est pas encore bien étudié (Kersting, D. *et al.* 2019).

Par ailleurs, l'autre facteur environnemental qui semblerait influencer la présence de la grande nacre est le type du fond marin, ainsi que les habitats qui leur sont reliés. L'histogramme de la figure 15 montre que la grande nacre choisit plutôt les substrats sableux que ceux vaseux et sableux vaseux, ce qui est contradictoire avec certaines études scientifiques confirmant la présence de *P. nobilis* généralement, dans un substrat le plus souvent sablo-vaseux (Rabaoui *et al.*, 2008).

Alors qu'en termes d'habitats, *P. nobilis* opte pour les prairies de cymodocée (environ 30% des individus vivants) et/ou de posidonie (29.8% des individus vivants). En effet, cette espèce est un bivalve qui existe dans les zones entre 0,5 et 50 m de profondeur et les herbiers de *Posidonia oceanica* sont décrits comme l'habitat principal de *P. nobilis* (Vázquez-Luis *et al.*, 2014). De l'autre côté, l'herbier de posidonie vit entre 1 et 30 mètres de profondeur, et exceptionnellement jusqu'à 40 m dans des eaux très limpides. De même, *Cymodocea nodosa* existe entre la surface et 10 m de profondeur, où elle forme des herbiers ; mais également au-delà des posidonies, jusqu'à 50 m de profondeur. Ceci confirme les observations des enquêtés.

2. Résultats de la prospection sur terrain

Les zones prospectées dans cette étude sont principalement déduites des réponses des plongeurs chasseurs et les pêcheurs, ayant déjà vu cette espèce dans ces zones. Afin de vérifier sur place les témoignages des pêcheurs chasseurs, trois secteurs principaux ont été choisis, comme indiqué dans les cartes ci-dessous (Figure 17 ,19 et 20).

Au niveau de la zone littorale du continent, quatre stations ont été prospectées, délimitant des ports de pêche (Dkhila, El Ghdir) ou de plaisance (Marina), et des zones reconnues pour leur biodiversité (El Ghdemsi) (figure 17).



Figure 17 : Carte géographique de la baie de Monastir avec les zones prospectée

Il faut noter qu'au niveau de la zone « El Ghdir, derrière INSTM », pour des raisons de sécurité sanitaire, nous n'avons pas pu effectuer des plongées puisqu'elle est une zone énormément polluée par les eaux usées versées directement par l'ONAS comme l'indique la figure suivante (figure18).



Figure 18 : Pollution de la zone de Ghdir

Au niveau de l'archipel des îles Kuriat, 11 stations ont été prospectées, dont 7 autour de la Grande Kuriat (figure 19) et 4 autour de la petite île (figure 20).

En se référant aux informations obtenues au préalable, la densité de la population de la grande nacre est supposée très faible. De ce fait, nous avons opté de travailler seulement par la méthode des transects de 100 mètres. Dans chaque zone, nous avons fait deux transects sous forme de diamètres de cercle, et de directions aléatoires à partir du point de départ. Au final, nous avons couvert un périmètre de 800m² dans chaque zone prospectée.



Figure 19 : Carte géographique des zones de prospectées de la grande Kuriat



Figure 20 : Carte géographique des zones prospectées de la petite Kuriat

a) Analyse du premier secteur : baie de Monastir (côté continent)

Au niveau des 4 zones prospectées du premier secteur, aucun spécimen n'a été observé (tableau 5).

Tableau5 : Caractéristiques environnementales enregistrées lors de la prospection du premier secteur

Zone	Type de sédiment	Végétation	Profondeur	Nombre de spécimens
Zone 1 : Dkhila	Sableux	Posidonie + Cymodocée	1.5 m - 10 m	0
Zone 2 : Port Marina	Sableux	Posidonie + Cymodocée	1 m - 5 m	0
Zone 3 : El Ghdhir	Vaseux	Cymodocée	0.5 m - 2 m	0
Zone 4 : El Ghdemsi	Sableux	Posidonie	0.5 m - 5 m	0

Nous avons aussi noté que les herbiers de posidonie dans les différentes zones prospectées sont fortement menacés, comme l'indique la figure 21.



Figure 21 : L'état déplorable de l'herbier de posidonie dans la zone Dkhila(© NGB)

En fait, cette zone est une zone touristique en face d'une série d'hôtels. Etant donnée l'anarchie des rejets des eaux usées sans traitement directement dans la mer, dans certaines zones, il se pourrait que ces derniers aient provoqué une pollution aboutissant au déclin du fonctionnement biologique de l'organisme de *P. nobilis* et/ ou à la regression ou bien la destruction de l'herbier de posidonie qui est l'un des habitats principaux de notre espèce étudiée.

En effet, l'adaptation du mécanisme de sélection des particules par les branchies et les palpes labiales de *Pinna nobilis* pourrait être le facteur limitant de la filtration de ce mollusque dans les zones à hydrodynamisme fort ou présentant un degré élevé de particules en suspension. L'adaptation extraordinaire des palpes de différentes espèces de bivalves a été étudiée par Foster-Smith (1978) qui a pu mettre en évidence la complexité des mécanismes de sélection des particules et, par conséquent, l'importance de cette fonction. Les palpes de *P. nobilis* ne seraient probablement pas capables d'éliminer l'excès de particules introduites par le courant inhalant. Ainsi, dans les milieux avec trop de particules en suspension, il pourrait se produire chez *P. nobilis* un effondrement du système digestif, analogue à celui qui se produit chez *Ostrea* (Foster-Smith, 1978).

De plus, il est bien connu que les œufs et les jeunes embryons des invertébrés marins, en particulier les mollusques, sont très sensibles aux polluants chimiques comme les métaux lourds (Deslou-Paoli, 1982), les composés organochlorés (Cosson-Mannevy, 1979), et les peintures antifouling (le biofouling) à base d'organo-étains qui

bloquent la gamétogenèse (His, 1991), et qui provoquent le « chambrage » des coquilles d'huîtres (Gendron et Vicente, 1986, Périchaud, 2002).

Au niveau de la deuxième zone tout près de l'île Ghdemsi (figure 17), nous avons remarqué une pollution importante en présence de déchets en plastique partout avec des gros sacs en plastique d'alimentation de poissons, des bouteilles d'eau, et même des filets fantômes et des cordes abandonnées, mais aucune trace de l'existence de la nacre. Ce résultat était le même au niveau de la troisième zone ElGhdir.

Etant donné qu'aucun spécimen n'a été trouvé vivant, ni mort dans ces trois zones, nous avons supposé que les coquilles des individus morts auraient été soit prises par des plongeurs pouvant les utiliser comme décoration (Zavodnik et al., 1991), soit par la régression des herbier de posidonie sous l'effet de l'ancrage (Cancemi et al., 2007).

Ainsi, et à la lumière de ces résultats, nous pouvons déduire que la densité de la population de *Pinna nobilis* au niveau du secteur 1 est nulle.

b) Analyse du deuxième secteur : La grande Kuriat

Le second secteur correspond aux alentours de la grande Kuriat. Les résultats des caractéristiques environnementales de cette zone sont résumés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Caractéristiques environnementales enregistrées lors de la prospection du deuxième secteur

La zone	Typologie du sédiment	Végétation	Profondeur	Nombre de spécimens
Zone 1	Sableux	Posidonie	1m-5m	0
Zone 2	Sableux vaseux	Posidonie	1m-5m	0
Zone 3	Sableux	Posidonie	1m-7m	0
Zone 4	Vaseux	Cymodocée	1m-5m	0
Zone 5	Vaseux	Cymodocée	1m-3m	0
Zone 6	Sableux-vaseux	Posidonie	1m-5m	0
Zone 7	Sableux	Posidonie +cymodocée	1m-10m	0

7 zones différentes ont été prospectées dans ce secteur, soit un périmètre total égal à 5600m² (chaque transect est de 800m²).



Figure22 : Prospection par apnée dans l’herbier de posidonie dans la grande Kuriat (©NGB)

D’après l’enquête faite, les spécimens de *Pinna nobilis* sont très abondants dans ce secteur. Ils ont été vus plusieurs fois par les plongeurs dans ces différentes zones dont des juvéniles en 2018 (figure 23).



Figure23 : Photo d’un juvénile *Pinna nobilis* prise dans la zone 2 en 2018(prise par le plongeur Mahdi Aguir)

En revanche, lors de nos prospections, nous n'avons pu détecter aucun spécimen dans ces zones, contrairement à l'existence en abondance d'une algue invasive, la *Caulerpa cylindracea* dans toutes les zones prospectées. En effet, des études antérieures portant sur des Caulerpes ont détecté des densités plus faibles de bivalves, de plus, ces derniers présentaient un poids de tissu sec plus faible lorsqu'ils vivaient dans les prés de Caulerpe, ce qui suggère des effets sur l'état corporel des bivalves (Wright et al., 2007).

c) Analyse du troisième secteur : La petite Kuriat

Le troisième et dernier secteur étudié correspond aux alentours de la petite Kuriat. Les résultats des caractéristiques environnementales de cette zone sont résumés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Caractéristiques environnementales enregistrées lors de la prospection du 3^{ème} secteur

La zone	Typologie du sédiment	Végétation	Profondeur	Nombre de spécimens
Zone1	Sableux	Cymodocée+posidonie	1m-6m	0
Zone2	Sableux	Cymodocée+posidonie	0.5m-3m	0
Zone 3	Sableux	Posidonie	3m-10m	0
Zone 4	Sableux-vaseux	Cymodocée	1m-4m	0

L'eau de mer de ce côté est caractérisée par une clarté et une pureté remarquables, et elle est beaucoup moins polluée que le premier secteur. Par contre, comme rencontré dans le deuxième secteur autour de la grande Kuriat, nous avons noté la présence des espèces invasives d'algues dans les herbiers de posidonie et de cymodocée. D'ailleurs cette présence est intense dans la plupart des zones de ce secteur, notamment pour l'espèce invasive de *Caulerpa cylindracea*, qui vient s'installer et couvrir même les individus de *Pinna nobilis* (figure 25), qui à la belle saison constitue une véritable moquette.



Figure 24 : *Caulerpa cylindracea* associée à l'herbier de cymodocée dans la zone 2 petite Kuriat (© NGB)

En effet, l'algue recouvre souvent les nacres sans que cela ne perturbe l'ouverture de la coquille, ni les fonctions de filtration et de respiration de l'animal. (Vicente et *al.*,2016).



Figure 25 : L'algue non indigène recouvre totalement les valves de la coquille de cet exemplaire de *Pinna nobilis* (d'après Vicente 2016)

Jusqu'à maintenant il n'y a pas d'études qui montrent l'impact ou l'interaction négative des nacres avec la *Caulerpa cylindracea*, mais d'autres études ont montré qu'une autre espèce d'algue nommée *Lophocladia lallemandii* provoque des perturbations de croissance de *Pinna nobilis* (Vázquez-Luis et al., 2014; Kersting et García-mars 2017).

Par ailleurs, il faut noter aussi qu'autour des îles Kuriat la courantologie est forte. Les courants côtiers générés, surtout par les vents du secteur Nord- Est et Est, sont approximativement Nord Est- Sud-ouest. Ils longent la série des hauts- fonds reliant l'archipel au rivage de Teboulba. Ces courants sont susceptibles de transporter en suspension ou en charriage les sédiments issus du démantèlement des hauts fonds tyrrhéniens et ceux arrachés des côtes des deux îles, directement soumis à l'action érosive des différentes agitations. Les palpes de *P. nobilis* ne seraient probablement pas capables d'éliminer l'excès de particules introduites par le courant inhalant. Ainsi, dans les milieux avec trop de particules en suspension et qui peut provoquer un effondrement du système digestif (Foster-Smith, 1978).

Pendant ce travail, aucun spécimen vivant n'a été trouvé dans les 3 secteurs prospectés, la densité de la population de *Pinna nobilis* est pratiquement zéro au niveau des stations prospectées d'après la figure 6. Une fourchette de densité allant de 2 à 20 individus/100 m² a été observée dans le Parc National de Mljet (Croatie) (Siletic et Peharda, 2003). Dans les eaux espagnoles, les densités moyennes observées sont inférieures à 1 individu/100 m² à Javea (Espagne) et la fourchette allant de 1 à 12 individus/100 m² à Moraira (Alicante). Des pics de concentration de 10 individus/m² ont également été observés à Murcie, Almeria et aux Iles Baléares (García-March, 2003). Dans la Réserve Marine de Columbretes, une densité de 1,5 *P. nobilis*/100m² a été observée, avec un pic de 16 individus/100 m² à El Carallot (García- March and Kersting, 2006), alors que dans le Nord et Est de la Tunisie une densité de 2.5 individu/100 m²(Rabaoui et al.,2009).

Toutefois, la comparaison des densités de ce bivalve entre différentes régions de la méditerranée ne semble pas appropriée, vu que différentes techniques d'échantillonnage et protocoles expérimentaux ont été utilisés par les divers auteurs.

Dans ce contexte, certaines valeurs de densités enregistrées ne semblent pas être représentatives de la large région (à grande échelle), du fait que ces densités sont basées sur un nombre faible de plots qui n'ont pas été placés au hasard dans une région d'étude plus étendue, mais plutôt dans des petites zones à fortes densités qui ont été sélectionnées pour l'échantillonnage. Nous devons tenir compte du fait que tous ces résultats sont anciens et que toutes ces études ont été effectuées un certain temps avant l'événement de mortalité massive causé par le parasite, et de nos jours, la plupart des populations utilisées pour calculer ces valeurs de densité ont maintenant disparu (IUCN 2019a).

Dans notre cas, nous ne pouvons pas dire qu'il s'agit d'une extinction totale de l'espèce, puisque cette étude était limitée par le temps et l'espace, et s'il y avait plus de temps, nous aurions pu peut-être faire plus que 20 missions de plongée et essayer de prospecter de plus larges zones.

Wesselmann et *al.*, (2018) ont montré que les populations de *P. nobilis* ont une grande diversité génétique, mais une faible différenciation entre les populations. Ils ont suggéré que cette découverte a de fortes conséquences pour la conservation de l'espèce. Les modèles de connectivité de l'espèce sont fortement influencés par les courants océanographiques, soulignant l'importance des courants océaniques et du transport des larves pélagiques dans la création de la connectivité des populations de *P. nobilis* (Wesselmann et *al.*, 2018). D'ailleurs, dans certains endroits touchés par la maladie parasitaire et avec des paramètres environnementaux caractéristiques, cette espèce n'a pas été touchée par la maladie depuis la première apparence de mortalité, à savoir, Fangar Bay (Espagne), Mar Menor (Espagne), Delta du Rhône (France), Etang de Thau (France), piscines Diana et Urbino (Corse), intérieur du golfe de Kalloni (Grèce) et dans la lagune de Venise (Italie) (Catanese et *al.*, 2018.). Les raisons de la résistance de ces populations à la maladie sont inconnues, mais pourraient être étroitement liées aux conditions environnementales particulières de ces sites, telles que les conditions de salinité faible ou élevée comme cela se produit dans la baie de Fangar ou Mar Menor, respectivement, et qui pourraient agir comme barrière contre le parasite haplosporidan (Cabanellas Reboredo et *al.*, 2019).

Une étude récente, réalisée en 2020 par Foulquié et son équipe, a montré que la présence de populations de *Pinna nobilis* dans des étangs et lagunes littorales en Méditerranée, semble démontrer une résistance de l'espèce à l'épizootie, qui depuis 2016, décime les populations sur l'ensemble des côtes méditerranéennes (Mathieu Foulquié et *al.*, 2020).

Au niveau de la baie de Monastir, ainsi que les alentours des îles Kuriat, la cause de la disparition de l'espèce ne pourrait pas être connue exactement puisqu'il n'y avait pas des spécimens trouvés pour faire l'analyse nécessaire. Mais, il se pourrait que les spécimens de la baie de Monastir soient aussi touchés par la maladie parasitaire qui circule déjà dans toute la méditerranée, ou bien que la population soient menacée par les menaces déjà existantes même avant l'apparition de la maladie parasitaire et qui se manifeste comme suit :

- **Le changement climatique** : l'augmentation de la température peut affecter négativement la reproduction et le recrutement des juvéniles (Kersting and Garcia-March, 2017).
- **Les espèces invasives** : Il a été signalé que l'algue invasive *Lophocladia lallemandii* altère les sources de nourriture (Cabanellas-Reboredo et *al.*, 2010), les réponses antioxydantes (Box et *al.*, 2009) et la croissance (Kersting et García-mars, 2017) chez *P. nobilis*.

L'interaction de *P. nobilis* avec des algues invasives comme (*Caulerpa cylindracea*, *L.lallemandii*) a été signalée à plusieurs endroits (Cabanellas-Reboredo et *al.*, 2010 ; Kersting et García-mars, 2017). Kersting et García-March (2017) ont signalé qu'une attention particulière devrait être accordée à cette menace supplémentaire face à la propagation rapide de ces algues non indigène en Méditerranée et au fait que la grande nacre agit comme substrat préféré par ces derniers (Vázquez-Luis et *al.*, 2014).

- **Perte d'habitat et ancrage des bateaux** : Les prairies de *Posidonia oceanica*, l'habitat principal de *P. nobilis*, ont connu une dégradation généralisée à travers la mer Méditerranée (Marbá et *al.*, 2014). En plus de cela la grande nacre est très vulnérable aux dommages directs des ancres (Vázquez-Luis et *al.*, 2015).

- **Altérations du réseau trophique :** *Pinna nobilis* est principalement prédaté par *Octopus vulgaris*, *Hexaples trunculus* et *Sparus aurata* (Zhakama-Sraieb et al., 2011).

Il a été émis l'hypothèse que la pression de prédation sur *P. nobilis* pourrait avoir augmenté à travers une cascade d'impacts du réseau trophique, où le mérrou sombre, *Epinephelus marginatus*, le principal prédateur de la poulpe en mer Méditerranée, a fortement diminué en raison de la surpêche (Basso et al., 2015). Cependant, il a également été décrit que dans les sites protégés avec des populations de poissons bien conservées, y compris *E. marginatus* et aussi *S. aurata* parmi d'autres sparidés, les juvéniles de *P. nobilis* sont également soumis à une forte pression prédatrice (Kersting et García-March, 2017).

- **Les contaminants chimiques :** Une bioaccumulation d'hydrocarbures aromatiques polycycliques et une augmentation des enzymes antioxydantes ont été détectées chez *P. nobilis* après une marée noire (Sureda et al. 2013).

De plus, les concentrations de métaux lourds se sont avérées élevées dans certains cas (Vázquez-Luis et al., 2016). Bien qu'il a été constaté que les peintures à base d'étain (tributylétain) provoquent la stratification et le chambrage dans les coquilles de *P. nobilis* (Vicente et al., 2003).

Aux termes de ce travail, nous voudrions rappeler que lors de l'enquête avec les pêcheurs dans les ports de Skaness et Kahlia, une sensibilisation a été faite portant sur la gravité de l'état du stock de cette espèce et le besoin urgent de la protéger. Ils ont été également informés qu'il est souhaitable de contacter l'association au cas où cette espèce est détectée morte ou bien vivante dans ces zones-là pour pouvoir mieux étudier son état actuel.



V. Conclusion & Perspectives

Nul ne peut nier que l'espèce de la grande nacre en méditerranée est dans une situation alarmante, face à un vrai danger critique avec un risque d'extinction très élevé, d'après l'IUCN.

Notre travail réalisé dans trois secteurs appartenant à la baie de Monastir et les alentours des îles Kuriat a montré une quasi disparition de l'espèce de *Pinna nobilis* à ces endroits, jadis y est présente. Plusieurs hypothèses ont été stipulées afin de pouvoir expliquer ce phénomène, et qui étaient en forte corrélation avec les conditions environnementales actuelles. Certes, le nombre des individus et le nombre de stations étudiées était faible, mais la dégradation du milieu marin, telle que le déclin d'état de l'herbier à *Posidonia* à cause de la pollution et l'ancrage, était le constat tiré de nos prospections, et pourrait souligner les causes réelles de cet état. Mais mieux vaut tard que jamais, et l'espoir de sauver l'espèce *Pinna nobilis* a fait que plusieurs équipes de recherche et des gestionnaires de parcs nationaux sont en cours de réaliser des études qui font l'objet de transplantation de cette espèce.

Les premières expérimentations de transplantation des *Pinna nobilis* ont été réalisées en Mer Adriatique par Mihailinovic'(1955). L'intention était de faire grandir les individus pour commercialiser la coquille, la chair et le byssus. Vicente *et al.* (1980) ont montré au parc national de Port-Cros que des individus de taille supérieure à 60 cm pouvaient être replantés. Hignette (1983), a transplanté un groupe de 16 Individus dans la Réserve Marine de Monaco, et a suivi leur croissance pendant 3 ans. Plus tard, De Gaulejac et Vicente (1990, 1995) ont étudié la survie des individus adultes et juvéniles après transplantation, en concluant que les spécimens de taille supérieure à 20 cm avaient de sérieux problèmes pour se replanter d'eux-mêmes après être maintenus à plat. En 2007, Caronni *et al.* Ont réalisé des essais de réimplantation de *P. nobilis* dans une AMP de Sardaigne.

En 2016 un nouveau protocole de transplantation de la grande nacre a été publié par Vicente, les résultats de cette expérience étaient très prometteuses (absence de mortalité dans les mois qui ont suivi les transplantations d'individus de diverses tailles et les fonctions physiologiques de la nacre ne sont pas perturbées) (Vicente.,2016). Ainsi, il serait très intéressant d'essayer la transplantation de *Pinna nobilis* en Tunisie,

et plus précisément au niveau de l'archipel des îles de Kuriat, qui fera l'objet d'une aire marine et côtière protégée.

Références

- **AAE. 1999.** Situación y presiones del medio ambiente marino y del litoral mediterráneo. Oficina de publicaciones oficiales de las comunidades europeas. Luxemburgo. (<http://www.eea.eu.int>). 137 pp. Consulté le 20/03 /2020
- **Addis, P., Secci, M., Brundu, G., Manunza, A., Corrias, S. & Cau, A. 2009.** Density, size structure, shell orientation and epibiontic colonization of the fan mussel *Pinna nobilis* l. 1758 (mollusca: bivalvia) in three contrasting habitats in an estuarine area of sardinia (w mediterranean). *Scientia marina*, 73: 143-152.
- **Arzul, I., Carnegie, R.B. 2015.** New perspective on the haplosporidian parasites of molluscs. *J.invertebr. Pathol.* 131, 32-42. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2015.07.014>
- **Azevedo, C., Hine, P.M. 2017.** Haplosporidia. In: Archibald, J.M., Simpson, A.G.B., Slamovits, C.H., Margulis, L., Melkonian, M., Chapman, D.J., Corliss, J.O. (eds.) *Handbook of the protists*. Springer, cham, pp. 823-850.
- **Basso, L., Vázquez-Luis, M., García-March, J.R., Deudero, S., Alvarez, E., Vicente, N., Duarte, C.M. And Hendriks, I.E. 2015.** The pen shell, *Pinna nobilis*: a review of population status and recommended research priorities in the mediterranean sea. *Advances in marine biology* 71: 109-160.
- **Box, A., Sureda, A., Deudero, S. 2009.** Antioxidant response of the bivalve *Pinna nobilis* colonised by invasive red macroalgae *Lophocladia lallemandii*. *Comparative biochemistry and physiology part c: toxicology & pharmacology* 149(4): 456-460.
- **Bradai, M.N., Jribi, I., Bouain, A., El Abed, A. 2004.** Á les îles Kuriat : un site à protéger en Tunisie the Kuriat islands : A site to protect in tunisia â. *Biol. Mar. Medit* 11:47.50..
- **Cabanellas-Reboredo, M., Blanco, A., Deudero, S. and Tejada, S. 2010.** Effects of the invasive macroalga *lophocladia lallemandii* on the diet and trophism of *Pinna nobilis* (mollusca: bivalvia) and its guests pontonia pinnophylax and nepinnotheres pinnotheres (crustacea: decapoda). *Scientia marina* 74(1):101-110.
- **Cabanellas-Reboredo, M., Vazquez-Luis, M., Mourre, B., Alvarez, E., Deudero, S., Amores, A., Addis, P., Ballesteros, E., Barrajon, A., Coppa, S., Garcia-March, J.R., Giacobbe, S., Gimenez Casalduero, F., Campi, E. 2004.** La seta del mare: il bisso : storia, cultura, prospettive. Scorpione editrice, taranto. The tyrrhenian coastline of italy. *Scientific reports* 9(2725): 1-12.
- **Carella, F., Aceto, S., Pollaro, F., Miccio, A., Iaria, C., Carrasco, N., Prado, P. And De Vico, G. 2019.** A mycobacterial disease is associated with the silent mass mortality of the pen shell *Pinna nobilis* along the tyrrhenian coastline of italy. *Scientific reports* 9(2725): 1-12.
- **Caronni S., B. Cristo, A. Torelli, 2007** – Tentativi di reimpianto del mollusco bivalve *pinna nobilis* (linneo, 1758) in una amp della sardegna. *Biol. Mar. Medit.*, 14 (2) : 98-99.
- **Catanese, G., Grau, A., Valencia, J.M., Garcia-March, J.R., Vázquez-Luis, M., Alvarez, E., Deudero, S., Darriba, S., Carballal, M.J. And Villalba, A. 2018.** *Haplosporidium pinnae* sp. Nov., a haplosporidian parasite associated with mass mortalities of the fan mussel, *Pinna nobilis* in the western mediterranean sea. *Journal of invertebrate pathology* 157: 9-24.
- **Coppa, S., De Lucia, G.A., Magni, P., Domenici, P., Antognarelli, F., Satta, A. And Cucco, A. 2013.** The effect of hydrodynamics on shell orientation and population

density of *Pinna nobilis* in the gulf of oristan (sardinia, italy). Journal of sea research 76: 201-210.

- **De Gaulejac B. 1993.** Etude écophysiological du mollusque bivalve méditerranéen *Pinna nobilis* l: reproduction ; croissance ; respiration. *Thèse doct. Université d'aix-marseille iii*, 220p.
- **De Gaulejac, B. & Vicente, N. 1990.** Ecologie de *Pinna nobilis* (l.) Mollusque bivalve sur les côtes de corse. Essais de transplantation et expériences en milieu contrôlé. *Haliotis* 10: 83-100.
- **De Gaulejac, B. 1995.** Mise en évidence de l'hermaphrodisme successif à maturation asynchrone de *Pinna nobilis* (l.) (bivalvia: pterioidea). *C. R. Acad. Sci. Paris, sciences de la vie, biologie et pathologie animale.* 318: 99-103.
- **De Gaulejac, B., Henry, M. & Vicente, N. 1995a.** An ultrastructural study of the gametogenesis of the marine bivalve *Pinna nobilis* (linnaeus 1758) i. Oogenesis. *J. Moll. Stud.* 61: 375-392.
- **De Gaulejac, B., Henry, M. & Vicente, N. 1995b.** An ultrastructural study of the gametogenesis of the marine bivalve *Pinna nobilis* (linnaeus 1758) ii. Spermatogenesis. *J. Moll. Stud.* 61: 393-403.
- **Deudero, S., Vazquez-Luis, M., Alvarez, E. 2015.** Human stressors are driving coastal benthic long- lived sessile fan mussel *Pinna nobilis* population structure more than environmental stressors. *Plos one* 10(7): e0134530.
- **Deudero, S., Vazquez-Luis, M., Alvarez, E. 2015.** Human stressors are driving coastal benthic long- lived sessile fan mussel pinna nobilis population structure more than environmental stressors. *Plos one* 10(7): e0134530.
- **Engelsma, M.Y., Culloty, S.C., Lynch, S.A., Arzul, J., Carnegie, R.B., 2014.** *Bonamia* parasites: a rapidly changing perspective on a genus of important mollusc pathogens. *Diseases of aquatic organisms* 110: 5-23.
- **Ford, S.E., Tripp, M.R. 1996.** Diseases and defense mechanisms. In: kennedy, v.s., r.i.e. newell and a.f. eble (eds), the eastern oyster *crassostrea virginica*. Maryland sea grant college, college park, maryland, pp. 581-660.
- **Foster-Smith, R. L. 1978.** The function of the pallial organs of bivalves in controlling ingestion. *J. Moll. Stud.* 44: 83-99.
- **Cancemi, G., Guala, I., Coppa, S., Burom, K. 2007.** L'impact de l'encrage sur l'herbiers de *Posidonia oceanica* et sur les populations des grande nacre (*Pinna nobilis*) ([http://www.corse.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/Cancemi et al_Impact_encrage.pdf](http://www.corse.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/Cancemi_et_al_Impact_encrage.pdf)) Consulté le 22/03/2020
- **García-March J.R. & Kersting D.K. 2006.** Preliminary data on the distribution and density of *pinna nobilis* and *pinna rudis* in the columbretes islands marine reserve (western mediterranean, spain). *Organisms diversity & evolution* 6, electronic supplement 16.
- **Garcia-March Jr, Marquez-Aliaga A, Carter Jg. 2008.** The duplivincular ligament of recent *pinna nobilis* l., 1758: further evidence for pterineid ancestry of the pinnoidea. *Journal of paleontology* 82(3): 621–627.
- **García-March, Jr., Vicente, N. 2006.** Protocol to study and monitor *pinna nobilis* populations within marine protected areas. Medpan-interreg IIIC-Project. Malta environment and planning authority (mepa), 62. (https://www.researchgate.net/publication/235963792_protocol_to_study_and_monitor_pinna_nobilis_populations_within_marine_protected_areas)
- **Garcia-March, J.R., Perez-Rojas, L., Garcia-Carrascosa, A.M. 2006.** Influence of hydrodynamic forces on population structure of *pinna nobilis* l., 1758 (mollusca: bivalvia):

the critical combination of drag force, water depth, shell size and orientation. *Journal of experimental marine biology and ecology* 342(2): 202-212.

- **Garcia-March.2003.** Contribution to the knowledge of the status of *Pinna nobilis* (L.) 1758 in Spanish coasts. *Memories de l'institut oceanographique Paul Ricard* 2003 (pp 29-41)
- **Hadjioannou, L., Jimenez-Gutierrez, S.V., Katsanevakis, S., Kersting, D., Mačić, V., Mavrič, B., Paolo Patti, F., Planes, S., Prado, P., Sanchez, J., Tena-Medialdea, J., De Vaugelas, J., Vicente, N., Belkhamssa, F.Z., Zupan, I. And Hendriks, I.E. 2019.** Tracking a mass mortality outbreak of pen shell *Pinna nobilis* populations: a collaborative effort of scientists and citizens. *Scientific reports* 9(13355).
- **Hendriks, I.E., Basso, L., Deudero, S., Cabanellas-Reboredo, M., Alvarez, E. 2012.** Relative growth rates of the noble pen shell *Pinna nobilis* throughout ontogeny around the Balearic islands (western mediterranean, spain). *Journal of shellfish research* 31(3): 749-756.
- **Hendriks, I.E., Basso, L., Deudero, S., Cabanellas-Reboredo, M., Alvarez, E. 2012.** Relative growth rates of the noble pen shell *pinna nobilis* throughout ontogeny around the balearic islands (western mediterranean, spain). *Journal of shellfish research* 31(3): 749-756.
- **Hignette, M. 1983** - croissance de *pinna nobilis* linne (mollusque eulamelibranche) après implantation dans la réserve sous-marine de monaco. *Rapp. Comm.int. Expl. Sci. Mer médit.*, 28 (3) : 237-238.
- **His E. 1991.** Biologie et écotoxicologie des véligères de *crassostrea gigas* (thumberg) dans le bassin d'Arcachon. Thèse d'état ès sciences. Université de bordeaux 1. N°9787-t1 : 192p
- **IUCN. 2018.** *Pinna nobilis* mass mortality outbreak in the mediterranean – call to action for central and western mediterranean countries. (<https://www.iucn.org/news/mediterranean/201805/pinna-nobilis-mass-mortality-outbreak-mediterranean-%e2%80%93-call-action-central-and-western-mediterranean-countries>, consulté le 12 \02\ 2020).
- **IUCN. 2019a.** Mediterranean noble pen shell crisis (*Pinna nobilis*) – (<https://www.iucn.org/news/mediterranean/201907/mediterranean-noble-pen-shell-crisis-pinnanobilis-june-2019-update>. (consulté le: 12 \02\ 2020).
- **IUCN. 2019b.** The IUCN red list of threatened species. Version 2019-3. (www.iucnredlist.org. ; consulté le: 12 \02\ 2020).
- **Katsanevakis, S. 2005.** Population ecology of the endangered fan mussel *Pinna nobilis* in a marine lake. *Endangered species research*: 1-9.
- **Katsanevakis, S. 2016.** Transplantation as a conservation action to protect the mediterranean fan mussel *Pinna nobilis*. *Marine ecology progress series* 546: 113-122.
- **Kersting, D. et al. 2019.** *Pinna nobilis*. The IUCN (international union for conservation of nature and natural resources) red list of threatened species 2019.
- **Kersting, D.K. And Garcia-March, J.R. 2017.** Long-term assessment of recruitment, early stages and population dynamics of the endangered mediterranean fan mussel *Pinna nobilis* in the columbretes islands (nw mediterranean). *Marine environmental research* 130: 282-292.
- **Kožul, V., Glavić, N., Bolotin, J. And Antolović, N. 2012.** Growth of the fan mussel *Pinna nobilis* (linnaeus, 1758) (mollusca: bivalvia) in experimental cages in the south adriatic sea. *Aquaculture research* 44(1):31-40.
- **Lavazza, S. 2012.** Dal buio alla luce - il bisso marino e chiara vigo. Cartabianca publishing, trevignano romano.

- **Lavazza, S. 2014.** Chiara vigo. L'ultimo maestro di bisso. Delfino carlo editore, sassari.
- **Maeder, F., Hanggi, A., Wunderlin, D., Mantiglia, G.C. 2004.** *Bisso marino. Fili d'oro dal fondo del mare-muschelseide. Goldene faden vom meeresgrund.* 5 continents editions, milano.
- **Marba, N., Diaz-Almela, E. And Duarte, C.M. 2014.** Mediterranean seagrass (*posidonia oceanica*) loss between 1842 and 2009. *Biological conservation* 176: 183-190.
- **Foulquié, M., Dupuy, R., De La Grandrive, ND., Vicente, N. 2020.** Inventaire et état de santé des populations de *Pinna nobilis* (l.1758) dans l'étang de thau (hérault, france). *Marinelife-revue.fr* – 2020 : 1-25
- **MedMPA, 2004.** Elaboration du plan de gestion de la partie marine du parc national de Zembra et Zembretta. Projet régional pour le développement d'aires protégées marines et côtières dans la région méditerranéenne (projet MedMPA), rapport global des travaux de prospection marine.
- **Mihailinovic´ M., 1955** - lostura. *Morsko ribarstvo*, 7 (5) : 113-114.
- **Moreteau, J. C. & Vicente, N. 1980.** Etude morphologique et croissance de *Pinna nobilis* l. (mollusque eulamelibranche) dans le parc national sous-marin de port cros (var-france). *Vie mar.* 2: 52-58.
- **Ozturk, B. 2004.** Marine life of turkey in the aegean& mediterranean seas. *Turk deniz arastirmalari vakfi*, istanbul.
- **Rabaoui, L., Tlig-Zouari, S. And Hassine, O.K.B. 2008.** Distribution and habitat of the fan mussel *pinna nobilis* linnaeus, 1758 (mollusca: bivalvia) along the northern and eastern tunisian coasts. *Cahiers de biologie marine* 49: 67-78.
- **Rabaoui, L., Tlig-Zouari, S., Katsanevakis, S., Ben Hassine, O.K. 2010.** Modelling population density of *pinna nobilis* (bivalvia) on the eastern and southeastern coast of tunisia. *Journal of molluscan studies* 76(4): 340–347.
- **Rabaoui, L., Zouari, S.T., Katsanevakis, S. And Hassine, O.K.B. 2007.** Comparison of absolute and relative growth patterns among five *pinna nobilis* populations along the Tunisian coastline: an information theory approach. *Marine biology* 152(3): 537-548.
- **Rouanet, E., Trigou, S., Vicente, N. 2015.** From youth to death of old age: the 50-year story of a *Pinna nobilis* fan mussel population at port-cros island (port-cros national park, provence, mediterranean sea). *Scientific reports of the port-cros national park* 29(209-222).
- **Combelles, S., Morteau J.C., Vicente, N.1986.** Contribution à la connaissance de l'écologie de *Pinna nobilis*. *Sci.rep.port cros natl parc fr* 12 :29-43 (1986).
- **Sallemi, R. 2010.** Analyse spatiale des usages au sein de la future aire marine protégée des îles kuriat. Master, univ. Manouba, 154p.
- **Acarli1, S., Lok, A., Acarli, D., Kirtik, A. 2018.** Reproductive cycle and biochemical composition in the adductor muscle of the endangered species fan mussel *Pinna nobilis*, linnaeus 1758 from the aegean sea, turkey. *Fresenius environmental bulletin.* 27 (10) 6506-6518.
- **Šiletić, T. And Peharda, M. 2003.** Population study of the fan shell *Pinna nobilis* l. In malo and veliko jezero of the mljet national park (adriatic sea). *Scientia marina* 67(1): 91-98.
- **Sureda, A., Natalotto, A., Alvarez, E., Deudero, S. 2013.** Increased antioxidant response and capability to produce ros in hemocytes of *Pinna nobilis* l. Exposed to anthropogenic activity. *Environmental pollution* 181: 321-324.

- **Thétis cabinet. 2014.** « Projet régional pour le développement d'un réseau méditerranéen d'aires protégées marines et côtières (AMP) à travers le renforcement de la création et de la gestion d'AMP ».
- **Tlig-Zouari S., 1993.** Contribution à l'étude écobioécologique de deux espèces de mollusques lamelibranches *Pinctada radiata* (leach, 1814) et *Pinna nobilis*, linné 1758 des îles kerkennah.. Thèse en sciences : écobioécologie marine : université de Tunis faculté des sciences de Tunis : 215p.
- **Trigos Santos, S., Garcia-March, J.R., Vicente, N., Torres Gavila, J., Tena Medialdea, Y.J. 2015.** Phytoplankton profitability and use as organic matter source by *Pinna nobilis*. *Nereis* 7 : 77-82
- **Trigos S, Vicente, N. 2016.** Protocole pour la transplantation des nacres *Pinna nobilis* dans divers substrats mar. *Life* – vol.18 : 55-61
- **Trigos, S., J.R. García-March, N. Vicente, J. Tena, J. Torres. 2014.** Utilization of muddy detritus as organic matter source by the fan mussel *Pinna nobilis*. *Mediterranean marine science*, 15(3), 667-674.
- **Vázquez-Luis, M., Álvarez, E., Barrajon, A., García-March, J.R., Grau, A., Hendriks, I.E., Jiménez, S., Kersting, D., Moreno, D., Pérez, M., Ruiz, J.M., Sánchez, J., Villalba, A., Deudero, S. 2017.** S.O.S. *Pinna nobilis*: a mass mortality event in western mediterranean sea. *Frontiers in marine science* 4: 220.
- **Vazquez-Luis, M., Borg, J.A., Morell, C., Banach-Esteve, G. And Deudero, S. 2015.** Influence of boat anchoring on *Pinna nobilis*: a field experiment using mimic units. *Marine and freshwater research* 66(9): 786-794.
- **Vazquez-Luis, M., March, D., Alvarez, E., Alvarez-Berastegui, D., Deudero, S. 2014.** Spatial distribution modelling of the endangered bivalve *Pinna nobilis* in a marine protected area. *Mediterranean marine science* 15(3): 626-634.
- **Vázquez-Luis, M., March, D., Alvarez, E., Alvarez-Berastegui, D., Deudero, S. 2014.** Spatial distribution modelling of the endangered bivalve *Pinna nobilis* in a marine protected area. *Mediterranean marine science* 15(3): 626-634.
- **Vazquez-Luis, M., Morato, M., Campillo, J.A., Guitart, C., Deudero, S. 2016.** High metal contents in the fan mussel *Pinna nobilis* in the balearic archipelago (western mediterranean sea) and a review of concentrations in marine bivalves (pinnidae). *Scientia marina* 80(1): 111-122.
- **Vicente, N. 1990.** Estudio ecológico y protección del molusco lamelibranquio *Pinna nobilis* l. 1758 en la costa mediterránea. *Iberus* 9(1-2): 269-279.
- **Vicente N., J.C. Moreteau, Escoubet, P. 1980.** Etude de l'évolution d'une population de *Pinna nobilis* l. (mollusque eulamelibranche) au large de l'anse du palud (parc national sous-marin de port-cros). *Trav. Sci. Parc natl port-cros*, 6 : 39-67.
- **Vicente, N. 2015.** La grande nacre de méditerranée **océanorama n° 7 p32-33** (https://issuu.com/institut-paul-ricard/docs/oceanorama_n_7/33) **consulté le 22 /03/2020**).
- **Vicente, N., Kirchhofer, D., Trigos, S. 2016.** Etat des populations du mollusque bivalve *Pinna nobilis*, la grande nacre de méditerranée sur les côtes de provence de 2009 à 2016. Institut océanographique Paul Ricard, 62 p.
- **Vicente, N., De Gaulejac, B., Avon, M. 2003.** *Pinna nobilis* indicateur biologique de la qualité du littoral méditerranéen = *pinna nobilis* biological indicator of the mediterranean littoral quality. Premier séminaire international sur la grande nacre de méditerranée *Pinna nobilis*. Ile des embiez, var, france.
- **Wesselmann, M., Gonzalez-Wanguemert, M., Serrao, E.A., Engelen, A.H., Renault, L., Garcia-March, J.R., Duarte, C.M. And Hendriks, I.E. 2018.** Genetic and

oceanographic tools reveal high population connectivity and diversity in the endangered pen shell *pinna nobilis*. Scientific reports 8(4770).

- **Wright, J.T., Mckenzie, L.A., Gribben, P.E. 2007.** A decline in the abundance and condition of a native bivalve associated with *Caulerpa taxifolia* invasion. Marine and freshwater research 58, 263–272.
- **Zavodnik D. 1967.** Contribution to the ecology of *Pinna nobilis* l.(moll.bivalvia) in the northern adriatic sea. Thalass. Jugosl. 3: 93-102.
- **Zavodnik D., Hrs-Brenko M. & Legac M. 1991.** Synopsis on the fan shell *Pinna nobilis* l. In the eastern adriatic sea. In: boudouresque, c. F., avon, m. & gravez, v. Eds.: les espèces marines à protéger en méditerranée. Gis posidonie publ. Marseille. Pp 169-178.
- **Zhakama-Sraieb, R., Sghaier, Y.S., Omrane, A. And Charfi-Cheikhrouha, F. (2011)** density and population structure of *Pinna nobilis* (mollusca, bivalvia) in the ghar el melh lagoon (NE Tunisia). Bulletin de l'institut national des sciences et technologies de mer de salammbo 38: 65-71.

Annexe 1



Questionnaire pour les plongeurs chasseurs /Pêcheurs

Date : ... / ... / 2020

Prénom & Nom:

Type de plongée : Plongée en apnée ; avec bouteille

1) Avez-vous vu cette espèce lors de vos plongées ?

a. Oui

b. Non



2) Si oui, où se trouve-t-elle? (Marquez sur cette carte l'endroit où vous avez observé cette espèce)





Remarque (concernant l'espèce) :

.....

.....



3) Décrivez l'état et le nombre des individus observés (si c'est possible) avec la période d'observation ou la saison

Spot 1

- a. vivant ; Nombre La saison ou date d'observation :
- b. mort ; Nombre La saison ou date d'observation :

Spot 2

- c. vivant ; Nombre La saison ou date d'observation :
- d. mort ; Nombre La saison ou date d'observation :

Spot 3

- e. vivant ; Nombre La saison ou date d'observation :
- f. mort ; Nombre La saison ou date d'observation :

4) À quelle profondeur ?

- a. <3m
- b. [5m-10m]
- c. 10m+

5) Décrivez le type de substrat dominant où se trouve l'espèce

- a. Sabieux
- b. vaseux

6) Décrivez le type de végétation dominant où se trouve l'espèce

- a. La posidonie
- b. La cymodoce
- c. Autres

7) D'après vous, quelle est la cause de mortalité de cette espèce ?

.....

.....

.....

8) Autres remarques ou observations (concernant l'espèce) ?

.....

.....

.....

Annexe 2

Tableau 3: Données collectées à partir de l'enquête faite dans les ports

N°	Présence de pinna	Type plongée	N° individus vivants	N° individus morts	Saison	Profondeur	Type substrat	Type végétation	Cause de mortalité	Zone d'observation	
1	Oui	apnée		10	2012	5-10m	Sableux	Cymodocée	Pollution	Zone 1 (Palaceprésidentiel)	
				1 à 3	2012	<5m	Sableux vaseux	Cymodocée		Zone 2 (Ouest de la petite Kuriat)	
2	Oui	apnée	15		2016	5-10m	Sableux	Cymodocée	Pollution	Zone 1 (Palaceprésidentiel)	
			5 à 8		2016	5-10m	Vaseux	Cymodocée		Zone 2 (El Ghdir)	
3		apnée	1		2000	5-10m	Sableux vaseux	Posidonie		Zone 1 (Palaceprésidentiel)	
			2		2016	5-10m	Sableux vaseux	Posidonie		Zone 2 (El Karraia)	
4	Oui	apnée + bouteille	7 à 8		2005	5-10m	Sableux	Cymodocée	Pollution	Zone 1 (Palaceprésidentiel)	
			1 à 3		2005	5-10m	Sableux	Cymodocée		Zone 2 (Marina + El Karraia)	
			8 à 10		2000	<5m	Vaseux	Cymodocée		Zone 3 (El Ghdir)	
5	Oui	apnée	4 à 5		2010	<5m	Sableux	Cymodocée	Pollution	Zone 1 (Palaceprésidentiel)	
			20		2007	<5m	Sableux	Cymodocée		Zone 2 (El Ghdir, derrière INSTM)	
6	Oui	apnée + bouteille	8		2001	<5m	Vaseux	Posidonie	Pollution et	Zone 1 (Palaceprésidentiel)	
			1		2009	5-10m	Sableux	Cymodocée		Réchauffement	Zone 2 (Grand Kuriat)
			10		2010	>10m	Sableux	Cymodocée		Réchauffement	Zone 3 (Petite Kuriat)
7	Oui	apnée + bouteille		1	2016	<5m	Vaseux	Cymodocée	Pollution	Zone 1 (El Ghdir, derrière INSTM)	
8	Oui	apnée	3	1	2012	<5m	Sableux	Posidonie	Pollution	Zone 1 (Palaceprésidentiel)	
			2	3	2012	<5m	Vaseux	Cymodocée		Pollution	Zone 2 (El Ghdir, derrière INSTM)

9	Oui	apnée	1	3	2012	5-10m	Sableux vaseux	Cymodocée	Pollution	Zone 1 (Ouest de la petite Kuriat)
10	Oui	apnée + bouteille	4		2005	<5m	Sableux	Cymodocée	Pollution	Zone 1 (Marina + El Karraia)
			1	4	2007	<5m	Vaseux	Cymodocée		Zone 1 (Palaceprésidentiel)
11	Oui	apnée + bouteille	2	3	2015	<5m	Sableux			Zone 1 (Petite Kuriat)
				4	2016	<5m	Sableux			Zone 2 (Palaceprésidentiel)
12	Oui	apnée	10	20	2018	<5m	Sableux	-	-	Zone 1 (Palaceprésidentiel)
			10	20	2018	<5m	Vaseux	-	-	Zone 2(El Ghdir, derrière INSTM)
			1	2	2017	<5m	Sableux	-	-	Zone 3 (Petite Kuriat)
13	Oui	apnée	6	0	2017	5-10m	Vaseux	-	-	Zone 1 (Ouest de la petite Kuriat)
14	Oui	apnée	2	3	2012	5-10m	Sableux	Posidonie		Zone 1 (Marina + El Karraia)
15	Oui	apnée	4	2	2018	5-10m	Sableux	Posidonie		(El Ghdir, derrière INSTM)
16	Oui	apnée	4	0	2018	5-10m	Sableux	Posidonie		Dkhila (zone touristique « Hôtel Serail »)
17	Oui	apnée	3	2	2018	5-10m	Sableux	Posidonie		(El Ghdir, derrière INSTM)
18	Oui	apnée	5	3	2018	5-10m	Sableux	Posidonie		(El Ghdir, derrière INSTM)
19	Oui	apnée	4	6	2018	5-10m	Sableux	-	-	(El Ghdir, derrière INSTM)
20	Oui	apnée	2	4	2018	5-10m	Vaseux	Posidonie		Dkhila (zone touristique « Hôtel Serail »)

Tableau 4 : Evolution du nombre de la population de la grande nacre au cours des années selon l'enquête

Année	N°Total vivants	N° Total morts
2000	11	0
2001	8	0
2005	15	0
2007	21	4
2009	1	0
2010	15	0
2012	6	15
2015	2	3
2016	25	5
2017	3	5
2018	32	57

Tableau 8 : Présence de l'espèce en fonction de la profondeur

Profondeur	Total vivants	Total morts
<5m	76	61
5-10m	79	33
>10m	10	2

Tableau 9 : Présence de l'espèce en fonction du substrat

Type de fond	Total vivants	Total morts
Vaseux	47	32
Sableux	99	56
Sableux vaseux	4	6

Tableau 10 : Présence de l'espèce en fonction de l'herbier

Type de végétation	Total vivants	Total morts
Posidonie	38	21
Cymodocée	88	24

Résumé :

La présence de *Pinna nobilis* fût signalée sur la frange littorale de la Méditerranée méridionale. Les connaissances concernant son statut et son éco-biologie demeurent, à ce jour, très peu nombreuses. Sur le littoral tunisien, l'éco-biologie de ce mollusque a été étudiée aussi bien au niveau des îles Kerkennah qu'au niveau des côtes nord et est du pays.

Ces derniers travaux ont concerné la distribution, la densité et la croissance de *P.nobilis* ainsi que ses relations interspécifiques (faune endobionte) sur le littoral nord et est de la Tunisie.

Dans le présent travail, une étude de l'état du stock de *Pinna nobilis* a été réalisée dans le but de faire une mise à jour sur son état actuel dans la baie de Monastir et les alentours des îles Kuriat. En effet, la dernière étude faite dans cette zone date de 2009, et la nouvelle situation alarmante de *Pinna nobilis* signalée par l'IUCN, cette espèce est aujourd'hui indiquée dans la liste rouge comme espèce en danger d'extinction, ce qui a nécessité une surveillance des individus dans le site d'étude.

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons prospecté 15 zones dans 3 secteurs différents (zone littorale de Monastir, la grande Kuriat et la petite Kuriat). Les résultats montrent que cette espèce est également absente et en danger critique d'extinction dans les zones prospectées, en raison probable de pollution, d'invasion biologique causée par des algues et parasites. Ces observations devraient être poursuivies dans un cadre spatio-temporel plus large pour pouvoir confirmer nos résultats obtenus.