

REPUBLIQUE TUNISIENNE

MINISTERE DE L'AGRICULTURE DES RESSOURCES
HYDRAULIQUES ET DE LA PECHE

MINISTERE DE L' ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

INSTITUTION DE LA RECHERCHE ET
DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
AGRICOLES

UNIVERSITE DE CARTHAGE



INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE DE TUNISIE

Département des Ressources Animales, Halieutiques et
des Technologies Agro-alimentaires

PROJET DE FIN D'ÉTUDES DU CYCLE INGENIEUR

Présenté par
Ben Salah Fadoua

Spécialité: Génie Halieutique et Environnement

Mise en place d'un SIG pour l'identification des sites d'ancrage écologique autour des îles Kuriat et conception du corps mort

Devant le jury composé de:

M. Chokri Damergi, Maître Assistant (INAT)
Mme Frida Ben Rais Lasram, Maître Assistante (INAT)
M. Yassine Ramzi Sghaier, Expert en biologie marine (NGB)
M. Chiheb Fassataoui (INAT)

Président du jury
Encadrant INAT
Encadrant Profession
Examinateur



Juin 2016

Introduction

Introduction

Actuellement, l'érosion de la biodiversité présente l'une des plus importantes préoccupations environnementales vue son rôle essentiel dans le fonctionnement des écosystèmes marins et leur stabilité. (Worm et al., 2006). La méditerranée est un "hotspot" de diversité: elle héberge des habitats, des espèces et des associations floristiques et faunistiques d'une grande importance écologique. Tout en représentant que 0.8% de la surface de l'océan mondiale, la Méditerranée abrite 9000 à 12000 espèces faunistiques et floristiques dont 20-30% d'espèces sont endémiques.

La Tunisie présente 30% des espèces de la Méditerranée (Etude nationale de la biodiversité en Tunisie, 1998). Les écosystèmes remarquables, en Tunisie, sont signalés du nord au sud du pays, dans ses bancs et dans ses milieux insulaires tels que les herbiers de posidonie et les coralligènes.

L'accroissement des pressions anthropiques sur le littoral ainsi que l'exploitation des océans ont sérieusement dégradé la biodiversité marine et le changement climatique ne fait qu'exacerber ce problème (Silvain et al., 2009). La pollution des eaux dont la majorité provient des activités humaines, la navigation, l'introduction d'espèces invasives, la surexploitation des ressources halieutiques par la pratique de pêche illicite, la dégradation, la fragmentation et les pertes d'habitats à cause des arts trainants, ainsi que l'ancrage sont autant de facteurs responsables de l'érosion de la biodiversité marine (Garcia et al., 2006).

Cette dernière pression, l'ancrage, représente une menace pour les habitats marins. Il provoque leur destruction par l'action des chaînes et des ancres.

La Tunisie est engagée dans le cadre des accords de Rio (chapitre 17 de l'Agenda 21) et de l'Agenda 21 de la Méditerranée (1994) et dans le cadre de la mise en œuvre du protocole de la convention de Barcelone (convention de Barcelone de 1976, amendée en 1995) pour la conservation des zones côtières et leur gestion intégrée. D'autre part, la création des aires marines et côtière protégée AMCP est l'une des stratégies efficaces pour la mise en réserve la richesse en termes de biodiversité spécifique des milieux insulaires (CAR/ ASP, 2014).

Notre Grand Bleu est une association non gouvernementale créé en 2012, sa vision est la préservation de la vie marine et côtière en Méditerranée et des activités humaines qui en dépendent et assurer un avenir durable de l'espace littoral. Notre Grand Bleu à développé un projet de conservation dans la région sous le nom de « *Contribution à la conservation des îles*

Kuriats et la baie de Monastir à travers l'implication de la société civile et le secteur privé »

Ce Projet est financé par le Fonds de Partenariat pour les Ecosystèmes Critiques (CEPF) (**Critical Ecosystem Partnership Fund**), et mis en œuvre en Partenariat avec L'Agence de Protection et Aménagement du Littoral APAL, le Centre d'Activités Régionales pour les Aires Spécialement Protégées (CAR/ASP), l'Initiative *PIM* pour les Petites Iles de Méditerranée.

En choisissant les îles Kuriat comme cas d'étude, notre travail a été consacré à l'identification de zones d'ancrage écologique dédiées aux différentes unités d'embarcation (pêche, plaisance, commerciales) fréquentant la zone et ce, en ayant recours à une analyse spatiale sous SIG. Nous avons également mené une étude de conception d'un modèle d'ancre écologique.

Problématique et objectif

I- Les aires marines protégées

I-1- Définition et rôles

L'UICN (l'union internationale pour la conservation de la nature), définit les aires protégées comme étant « les zones terrestres ou marines spécifiquement décidées à la protection et à la conservation de la diversité biologique, ainsi qu'aux ressources naturelles et culturelles associées ».

Ces sites distinctifs doivent être protégés par des moyens efficaces et pragmatiques de nature juridique ou autre (contractuelle, pédagogique, financière...).

En Tunisie, la loi n° 2009-49 du 20 juillet 2009, relative aux aires marines et côtières protégées, décrit ces aires comme suit: « les espaces désignés par la loi, en vue de protéger les milieux naturels, la flore, la faune, les écosystèmes marins et côtiers présentant un intérêt particulier d'un point de vue naturel, scientifique, instructif, récréatif, ou éducatif ou économiques qui constituent des paysages naturels remarquables devant être préservés. »

La création d'une aire marine protégée vise la conservation du patrimoine naturel, la sauvegarde de ses ressources d'intérêt d'une façon durable et équilibrée et la préservation de la diversité biologique.

I-2- Les aires marines protégées en Tunisie

La Tunisie accorde un intérêt particulier aux zones côtières et à leur gestion intégrée vue leur poids économique et écologique appuyé par les engagements pris par la Tunisie dans le cadre du protocole de la convention de Barcelone (convention de Barcelone de 1976, amendée en 1995), les accords de Rio (chapitre 17 de l'Agenda 21) et de l'agenda 21 de la Méditerranée (1994).

La Tunisie comporte en totalité cinq sites d'aires marines protégées dont deux déjà existantes : l'archipel de la Galite, Zembra et Zembretta , les autres sont en voie d'installation (par exemple Kerkannah, le littoral entre Cap Negro et Cap Serrat et les îles Kuriat) (APAL, 2001).

I-1-1- Liste des AMPs en Tunisie et raisons de création

L'Archipel de la Galite était créé en 1980 sous un statut juridique d'une réserve naturelle. La Galite couvre une superficie estimée de 2715 ha à 81 Km de Bizerte. C'est un patrimoine somptueux marqué par des formations géologiques uniques. Cette zone offre une richesse

biologique et écologique marine exceptionnelle dont la préservation est nécessaire. Parmi les espèces rares qu'abrite cette île on cite la tortue grecque menacée et protégée. Cet archipel abrite une multitude d'espèces servant au nourrissage d'espèces halieutiques (<http://.rac-spa.org>).

Cet archipel présente une diversité d'habitat sous marin bien particulière dont les forêts de cystoseires, les fonds de maërl etc construisant une nurserie naturelle pour des nombreuses espèces vulnérables de poissons tels que les mérours (<http://.rac-spa.org>).

En effet, les principales agressions que subissent les patrimoines naturels sont principalement l'activité de pêche illicite, la pratique d'ancrage détruisant les habitats marins, l'apparition et la prolifération d'espèces invasives (<http://.rac-spa.org>).

Concernant, Zembra et Zembretta, il s'agit d'une région située à l'extrémité orientale Golfe de Tunis et à l'ouest de pointe du Cap bon d'une superficie de 389 ha. Ces îles présentent une richesse naturelle remarquable et d'une valeur paysagère exceptionnelle qui incluent 4 zones de grande importance naturelle (<http://.rac-spa.org>).

La justification du choix de Zembra et Zembretta d'être une AMP est liée principalement à l'importance des habitats. Une diversité exceptionnelle d'habitat marin existe au sein de ces îles telles que l'herbier de posidonie, les fonds rocheux et l'habitat potentiel pour le phoque moine. Quant aux espèces remarquables, on cite *Pinna nobilis*, *Cystoseira spinosa* (<http://.rac-spa.org>).

Un tel écosystème riche et valorisé mérite d'être protégé et préservé contre tout agent destructif ou perturbateur.

II-1-2- Liste des AMPs à venir et raisons de leur création

Les îles Kuriat, Cap Negro et Kerakannah sont des régions très sensibles et très riches en terme de richesse environnementale. Cette contradiction se traduit par les diverses pressions qui s'y exercent comme la pêche illicite, la pollution ainsi que l'apparition des espèces invasives menaçant la stabilité de l'écosystème (APAL, 2001).

C'est ainsi que dans le souci de protection, de réhabilitation et de valorisation des espaces littoraux naturels, qu'un programme national de la protection et de gestion des zones sensibles a été élaboré (CAR/ ASP, 2015).

Dans ce cadre, l'APAL et le CAR/ASP ont pris l'initiative pour l'élaboration d'un plan de gestion relatif à ces régions dans le cadre du projet de MedMPAnet illustrant les différents objectifs et raison de sauvegarder ces zones.

Les raisons de création des AMPs visent principalement la sauvegarde de patrimoine naturel ainsi que culturel. En outre, une telle protection permet de maîtriser la gestion de la zone littorale. Une fois préservées, les communautés benthiques vont se repeupler et se réhabiliter (CAR/ASP, 2014).

Une attention particulière a été portée aux îles Kuriat. Ces îles abritent de nombreuses espèces remarquables telles que *Caretta caretta*, *Pinna nobilis*, *Posidonia oceanica*... Les Kuriat jouent le rôle d'un site de nidification, une nurserie vue la présence significative des récifs barrière de posidonie autour de cet archipel. Elles abritent également de nombreuses espèces d'oiseaux migrateurs. (CAR/ASP, 2014).

La mise en réserve d'une telle richesse naturelle est primordiale. Pour ce faire, il faut immédiatement éliminer toutes les sources de perturbation et de destructions possibles comme la pêche illicite, les engins de pêche aux arts trainants, le mouillage des bateaux, la pollution... D'autre part, il faut développer l'esprit d'écotourisme et encourager les techniques de pêche artisanale tout en impliquant les différentes parties prenantes dans cette stratégie assurant ainsi la gestion durable des ressources naturelles et la préservation du patrimoine biologique et économique (CAR/ASP, 2015).

II- Les menaces sur la biodiversité

II-1- Pollution

La méditerranée présente une concentration de 250 milliards de micro-plastiques qui flottent au gré des courants (<http://notre-planete.info>).

Cette pollution commence à terre et finit en mer et présente un danger pour les animaux qui les ingèrent, et par la suite, une accumulation aura lieu dans la chair.

Aujourd'hui on considère les plastiques comme une source majeure causant la mortalité des tortues marines à 80% des cas. Ces espèces opportunistes sont incapables de différencier entre les déchets plastiques et ses proies naturelles. Les polluants affectent également les organismes planctoniques filtrant ou assimilant certains composés chimiques et les

transmettant à la chaîne alimentaire. Les fragments de plastique affectent ainsi la chaîne alimentaire de la base (plancton) jusqu'au sommet (l'homme).

La pollution existe aussi sous d'autres formes telles que le rejet des métaux lourds toxiques et phosphatés. L'impact des polluants lourds tels que le Cd et le Pb présent dans les organes de poissons engendrant une altération des enzymes anti oxydantes, des systèmes de la glutathion provoquent ainsi un stress oxydatif. Ces polluants sont bioaccumulables dans les organismes vivants marins (Mellila et al, 2012).

II.2 Le trafic maritime

Une autre pression sur la biodiversité marine est le trafic maritime. En effet, actuellement, le secteur de transport maritime fait partie intégrante de l'environnement économique et joue un rôle primordial dans la promotion des échanges commerciaux. Ce secteur affiche une augmentation rapide et significative (Sghaier et al, 2016). De ce fait, le trafic maritime est l'un de vecteurs d'introduction non intentionnelle des espèces non indigènes

L'impact des espèces introduites sur la biodiversité affecte l'environnement, le bien être humain, l'économie et même la culture (Sghaier et al, 2016). Les espèces invasives sont à l'origine des phénomènes de prédation et de diminution de disponibilité d'habitats pour les espèces natives favorisant ainsi une compétition supplémentaire dans l'écosystème. Elles provoquent aussi l'apparition des maladies par l'introduction des parasites.

En outre, ces espèces engendrent des changements au niveau de fonctionnement des écosystèmes ainsi que les cycles alimentaires (Sghaier et al, 2016).

II-3- La pêche

Avec un nombre de pêcheurs estimé à 602000 et une production halieutique de 5480000 tonnes/ an, le secteur de pêche en méditerranée présente une importante base socio-économique (FAO, 1997).

Un tel volume de production menace le stock halieutique qui est largement surexploité biologiquement et économiquement. La surexploitation biologique nuit immédiatement la diversité étant donné que la pêche ne vise pas toutes les espèces cibles de la même intensité ou ignore d'autre.

Parmi les effets indirects de certaines formes de pêche on peut citer: la destruction des fonds marin, les rejets de prises accessoires, la capture des juvéniles par les engins non sélectifs.

II-4- Changement climatique :

Depuis une quinzaine d'années, la Méditerranée a connu des anomalies chaudes de plus en plus marquées (Pérez *et al.* 2004). Pour un événement donné, la durée de l'anomalie est d'autant plus longue que la profondeur considérée est faible. Tendances à long terme et anomalies estivales exercent toutes les deux une influence sur les peuplements côtiers (Pérez *et al.* 2004). Leurs impacts sur les espèces et sur les écosystèmes se traduisent par un stress physiologique, d'autant plus prononcé que les espèces considérées sont probablement déjà proches de leur limite de tolérance (Pérez *et al.* 2004). Ces stress peuvent conduire, soit à des changements de la distribution géographique, soit à des modifications du cycle de vie et des adaptations *in situ*, soit enfin, chez les formes sessiles ou à mobilité réduite, à d'importantes mortalités accompagnées d'épizooties et de substitution par des formes méridionales (Francour *et al.* 1994).

II-5- Problématique de l'ancrage des bateaux

Selon OMMM (2004), l'ancrage de bateaux engendre la destruction des herbiers de phanérogames marines ainsi que des cassures sur les fonds coralliens. Par ailleurs, la mise en place d'une ancre sur le fond marin s'accompagne de l'arrachage de faisceaux engendrant l'abrasion des mattes, un remaniement du substrat et des phénomènes d'affouillement au niveau des structures immergées (Porcher). En outre, Francour *et al.* (1999) prouvent que chaque mouillage arrache en moyenne 20 faisceaux, ce qui n'est pas sans conséquences dans les sites où on assiste à une sur-fréquentation touristique en été (exemple : jusqu'à 9000 ancrages recensés en trois mois aux alentours des îles Lavezzi en Corse (Richiez, 1995).

Hasting *et al.*, (1995) ont prouvé l'impact nuisible de la fréquentation des bateaux, dans deux baies différentes situées à Port Crau, sur une période de 51 ans par l'intermédiaire de photographies aériennes. En effet, une diminution de 18% des herbiers qui recouvrent le fond a pu être constatée. Les dommages dus à l'ancrage sont divisés en trois phases : commençant à jeter l'ancre sur le fond, puis le temps de mouillage, enfin le relevage. Lors des deux dernières phases, les dégâts les plus importants se présentent.

Le phénomène de mouillage engendre principalement une diminution de la densité suivie d'un recouvrement ou une destruction de l'herbier tout dépend de la partie de la plante touchée (Creed & Amado Filho, 1999). En revanche, un cycle d'ancrage produit la destruction de 50 pieds/m² d'herbier de *Posidonia oceanica* en moyenne (Francour *et al.*, 1999). D'un autre côté, Backhurst & Cole, (2000), montrent que 0.5% de l'herbier est endommagé par an par bateau

dans le monde. Par contre, Creed & Amado Filho, (1999), montrent que les activités de loisirs impactent localement le fond marin mais plus intensément.

Par exemple, la région de Monastir présente une flottille de bateaux de plaisance de 3702 unités, en 2007, dont 900 ont visité les îles Kuriat. A cela s'ajoutent, ce que les autorités qualifient de "balnéaires" et qui consistent en des bateaux touristiques. Ces bateaux sont au nombre de 6 et visitent quotidiennement cet archipel en période estivale. Les bateaux de pêche sont maintenus autour de 1000 embarcations au cours des deux dernières décennies tout en sachant que chaque embarcation touche 50 fairsc/ m² donc en totalité 50000 fairsc/ m². D'autre côté, les îles Kuriat présente une densité de Posidonie 600 fairsc/ m² par conséquent on a une surface 10 m²/an d'herbier est détruite et avec une croissance de 2cm- 4cm on a besoin de 300 an pour récupérer la perte de Posidonie.

L'accostage et le mouillage par ces différentes embarcations impactent perceptiblement les habitats marins fragilisés Des études antérieures s'accordent à conclure que cette activité génère une pression anthropique croissante sur cet archipel dont le résultat est une dégradation continue des écosystèmes ainsi qu'une perturbation des espèces induisent des effets néfastes sur la biodiversité (RAC/ SPA, 2014).

Pour minimiser les dégâts de mouillage des bateaux, Millazzo et al., (2004), ont proposé certaines types d'ancres ayant un impact moindre sur les herbiers. Par ailleurs, l'installation de structures telles que le corps mort ou ponton flottant semblent efficace. D'autres parts, on peut avoir recours à un anneau fixé dans la roche, une gueuse en béton pour les fonds meubles, ou d'autres types d'ancrages spécifiques comme « Harmony » (OMMM, 2004 ; Neptune environnement).

Pour choisir la solution écologique la plus adéquate, il faut prendre en considération la nature du milieu sachant que 5 grandes catégories de milieu sont retenues : sable et vase, galets et éboulis, blocs et roches, coralligène et herbiers de Posidonies. Chaque milieu est caractérisé par sa sensibilité et la vulnérabilité en fonction des caractéristiques particulières du milieu comme la vitesse de régénération, complexité structurale, rôle écologique... Tous ces éléments permettent de comprendre pourquoi le milieu est plus au moins fragile et pourquoi il est nécessaire de trouver des solutions alternatives au mouillage par ancre (Francour et al., 2006).

Concernant les solutions techniques, elles comportent une description de la partie immergée ainsi qu'une description de la partie en surface, sans oublier bien sûr les éléments de connexion entre les deux parties.

On va définir les différents types de mouillage écologique. Le premier est la vis à sable (figur 1), c'est un pieux en acier galvanisé à chaud, très rigide, possédant un ou deux étages de spires hélicoïdales de diamètre proportionnel (Francour et al., 2006). Ce dispositif présente plusieurs formes qui diffèrent selon la nature du milieu sableux-vaseux, galet et éboulis.



Figure 1 : Vis à sable (Francour et al., 2006)

Les scellements d'ancrages (figure 2), selon APAL (2015), est une technique adéquate pour les substrats rocheux homogènes. Un dispositif très résistant qui se compose d'une platine muni d'un organeau occupé d'un ou plusieurs tirants scellés dans la roche.



Figure 2 : Les scellements d'ancrages (Francour et al., 2006)

On trouve aussi les ancrs ressorts (figure 3) composés d'un enroulement hélicoïdal d'acier qui permet la pénétration dans le substrat (matte). Cette forme d'ancrage n'affecte ni les feuilles ni les rhizomes de la plante ce qui garantit la non altération de la matte lors de la pose ni l'occupation de la surface de l'herbier.

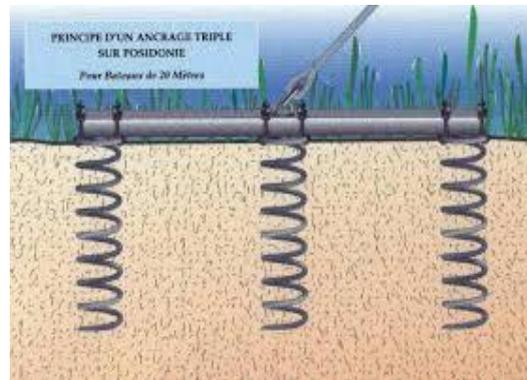


Figure3 : Ancre ressort (Francour et al., 2006)

Une autre option est le corps mort: on peut le décrire comme étant un objet de grande masse volumique, coulé sur le fond. Ce dispositif est bien adapté aux sols sableux et sédimentaires compacts. Il sert à l'amarrage d'une très large gamme d'utilisation commençant par les petits balisage arrivant à l'amarrage de gros navire (Francour et al., 2006). Par ailleurs, il faut prendre en considération les dégâts que peuvent entraîner sur les secteurs de récifs coralliens ou herbier en cas où le bloc est traîné sur le fond. (Francour et al., 2006)

Concernant la ligne de mouillage (figure 4) qui est un dispositif situant entre un objet ou une structure et un point d'amarrage fixe (APAL, 2015). Elle présente les éléments suivants :

- ✓ L'ancrage : corps morts ou autre dispositif.
- ✓ La ligne inférieure : chaîne mère pris sur l'anneau par une manille.
- ✓ Flotteur immergé (bouée moussée)
- ✓ La ligne supérieure: chaîne fille pris sur le flotteur immergé, et menant à la bouée surface.
- ✓ La bouée de surface (bouée moussée), placée en partie supérieure de la ligne au moyen d'une manille.

Plusieurs régions dans le monde ont procédé l'installation des mouillages écologiques et même la création des zones de mouillage écologique afin de protéger les habitats marins. On cite par exemple, La Zone de Mouillages et d'Equipements légers (ZMEL) installée au cœur

de l'aire marine protégée de la côte agathoise (sud de la France) présentant 41 bouées d'amarrage réparties sur 35 ha (Dupuy, 2008) ainsi que pour la région de port Crau et Marseille.

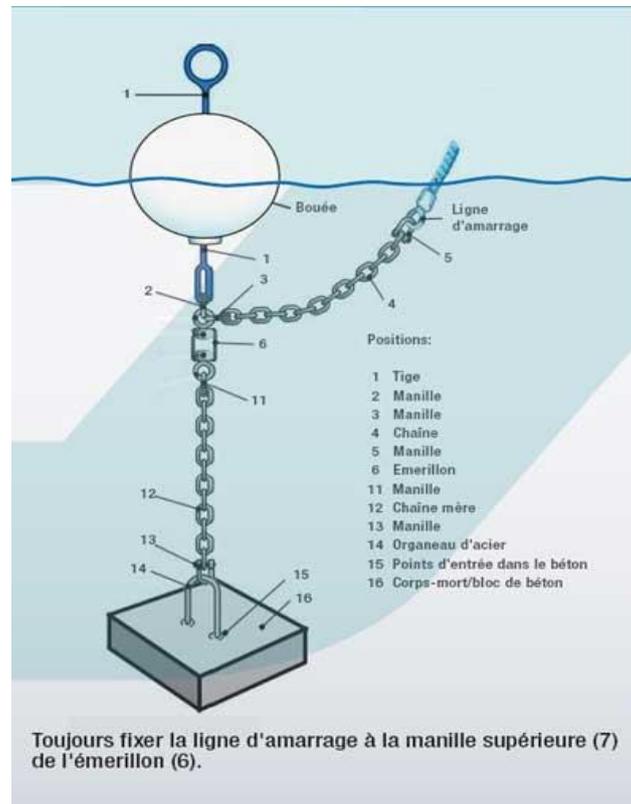


Figure 4 : Ligne de mouillage (APAL, 2015).

Matériels et méthodes

I- Présentation de la zone d'étude

I-1- Situation géographique

Les îles Kuriat sont situées au large de la baie de Monastir au Nord-est de cap de Monastir à environ 18km de cette ville. Ce sont des émergences des hauts fonds. Les îles Kuriat sont en réalité deux îles principalement une petite île ou île Conighera (Qurya El Essaghira) d'environ 70 ha et une autre île plus grande « grande Kuriat ou Qurya El Kabira d'environ 270 ha de superficie et distante de 2,5Km de la première (APAL, 2000). Il existe aussi deux autres minuscules îlots qui se trouvent à proximité de la petite Kuriat.

La petite Kuriat, de forme quasi-triangulaire est formée d'une plage sableuse d'environ 1000 m de long. Le reste des côtes est soit bordé de sebkha, soit rocheux. (RAC/SPA-PNUE, 2014). Cette île est très fréquentée par les pêcheurs et les touristes en été (Bardai & Jribi, 1997).

Par contre, la grande Kuriat est sensiblement de forme ovoïde. Elle comprend trois grandes Sebkhass situées à l'EST, au Sud-ouest et à l'Ouest. Cette île est connue par la présence d'un phare qui est établi au Nord de l'île. Ce phare a été construit en 1888 (Jribi, 1998).

La grande Kuriat est sous surveillance militaire par conséquent il est complètement interdit d'y passer la nuit pour les estivants et les pêcheurs (Bardai & Jribi, 1997)

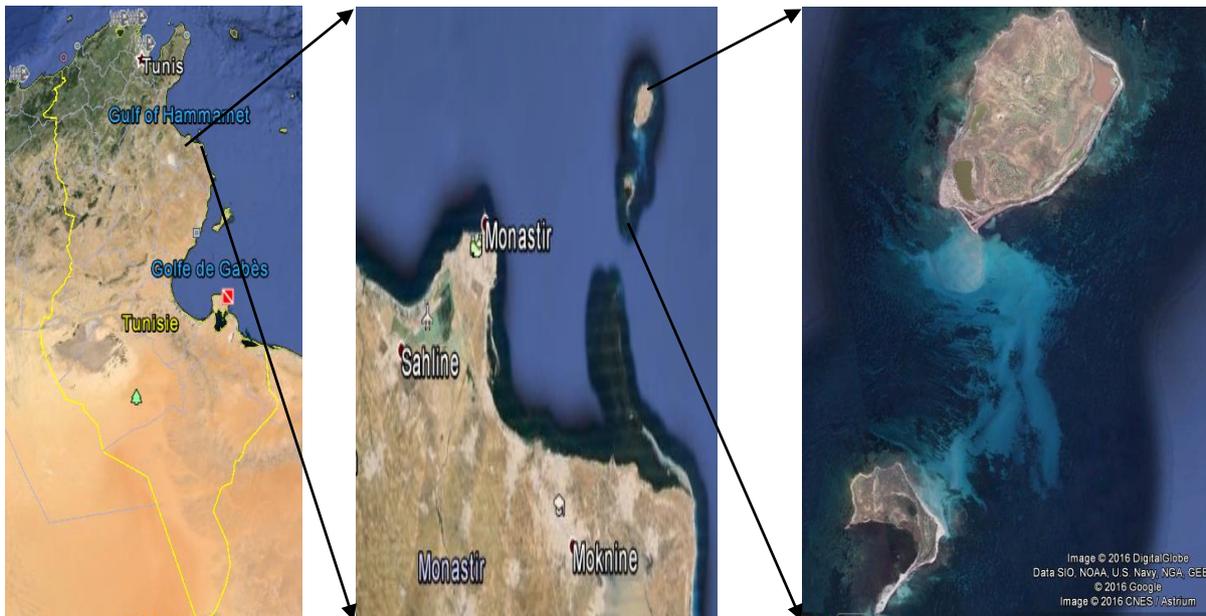


Figure 5 : Localisation de la zone d'étude (google earth , 2016)

I-2- Bathymétrie

On distingue deux secteurs bathymétriques (RAC/ SPA, 2014):

Le secteur Nord : il se caractérise par une faible bathymétrie avec des profondeurs n'excédant pas 40m.

Le fond marin évolue en pente douce jusqu'à des fonds d'ordre de -3m. Les isobathes -5m et -10m se situe respectivement à 800m et 1500m environ de la ligne de rivage. Ceci indique les profondeurs très faibles et pente douces et régulières.

Le secteur Sud : il se caractérise par des pentes très faibles. Il s'étend de la zone du port jusqu'à la ville de Mahdia. La bathymétrie de ce secteur est plus marquée puisque l'isobathe -5 m est distante de 400 m environ de la côte.

La pente devient irrégulière jusqu'à l'isobathe -50 m ce qui montre la présence de fosses et des hauts-fonds.

I-3- Courantologie

La vitesse des courants est limitée vu la faible bathymétrie qui varie entre 0.2 et 0.3 m/s. Les courants sont généralement créés par les vents du NNE, NE, ENE, qui sont à l'origine d'un courant littoral ouverte Nord-Sud le long de la côte (APAL, 2010).

I-4- Marée

La marée dans la région de Monastir est une marée de type semi-diurne et de faible amplitude. En moyenne, le marnage ne dépasse pas 30 Cm par contre en vives-lieux il peut atteindre 40 Cm. Les courants induits ont une vitesse de l'ordre de 5 à 10 Cm/s ce qui ne possède aucun rôle dans la dynamique sédimentaire (RAC/SPA, 2014).

I-5- Houle

La houle le principal agent dynamique des îles Kuriat qui se propagent vers la côte soit avec une certaine oblicité donnant naissance aux courants locaux, soit en parallèle à la côte origine des courants de dérive littorale. Ils sont à l'origine des hauts fonds qui relient l'archipel au rivage de Téboulbla. Ces courants sont susceptibles de transporter les sédiments et de créer des banquettes de posidonie qui contribuent à la protection des côtes de l'archipel.

Ces courants guident la configuration érosive des côtes Nord-est et sablonneuse des plages orientés au Sud-ouest (RAC/SPA, 2014).

I-6- Le vent

De par leur position insulaire, les Kuriat sont très ventées. Les vents du Nord et Nord-est sont les plus fréquents à Monastir, leur fréquence est de l'ordre de 49%. Ces vents sont responsables des pluies fines de longue durée.

Par contre, les vents de l'Ouest sont froids et violents avec une fréquence de 48%. Alors que les vents calmes ne dépassent pas une fréquence de 8%.

Les vents violents qui ont une vitesse dépassant les 20m/s pendant l'hiver arrivent du secteur Nord (INM ; 2013). Les vents maxima enregistrés ont des vitesses de l'ordre de 50 m/s (Sellami 2010).

I-7- La température

Selon l'annuaire de l'Institut National de la Météorologie (INM, 2013), la région de Monastir se caractérise par une température moyenne annuelle de 20°C.

La température maximale enregistrée au mois de Juillet et Août est 32°C alors qu'en Janvier la température varie entre 7°C et 13°C.

On peut dire que la région de Monastir est une région de température douce grâce à l'effet modérateur de la mer.

I-8- La biodiversité

Les îles Kuriat se caractérisent par leur richesse faunistique et floristique particulière ainsi qu'un potentiel écologique important selon des études menées par des chercheurs et des scientifiques (CAR/ASP, 2014).

I-8-1- Herbier de *Posidonia oceanica*

La biocénose à *Posidonia oceanica* est considérée comme étant un écosystème très bien représenté autour des îles Kuriat qui couvre des profondeurs entre 0 et 27 mètres (Ben Mustapha, 1992 ; PNUE/PAM, 2011).

Cet herbier s'étend sur de larges superficies de fonds meubles avec une densité assez importante des faisceaux qui oscille entre 600 et 700 fais./m². Le recouvrement inférieur de ces faisceaux est estimé à 70%.

La qualité de l'eau de mer dans les îles Kuriat est excellente. Elle est bien éclairée et bien transparente favorisant une croissance très développée de la posidonie. Par contre, on remarque que les densités existantes restent modestes.

Ceux-ci peuvent être expliqués par l'impact des méthodes de pêche aux arts traînants sur le fond, le chalutage, la pollution, le mouillage, etc (RAS/ SPA, 2014).

En revanche, la grande Kuriat se caractérise par la présence de récifs barrières à posidonie 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 (APAL et CAR/ASP, 2011). Les plages de ces îles se caractérisent par la présence des banquettes de posidonie.

I-8-2- Fond de maërl

Ce sont des associations à rhodolites. Ces fonds sont situés dans les parties rocheuses au nord des deux îles et aussi bien à l'ouest de la petite Kuriat où on les trouve à des profondeurs très faibles entre 0.5 et 7 m.

Ceux-ci prouvent que le milieu est sous influence des courants de fond d'où la formation de ce fond à de telles profondeurs. Les fonds de maërl sont caractérisés par les algues calcaires arbusculaires ou laminaires libres de genre *Lithothamnion*, *Lithophyllum* et *Mesophyllum*.

La pratique de la pêche aux arts traînants sur le fond, le chalutage, la pollution, le mouillage... sont les menaces qui pèsent sur les fonds de maërl aux environs des îles Kuriat (CAR/ASP-PNUE, 2014).

I-8-3- Forêt à *Cystoseira* spp

Autour des fonds rocheux des Kuriat, entre 0 et 10 m de profondeur, il existe des forêts à *Cystoseira* bien développées. Les forêts les plus denses se localisent autour de l'ancien port punique entre 0 et 1 m de profondeur (RAC/ SPA, 2014).

I-8-4- Association à *Cymodocea nodosa*

Les pelouses à *Cymodocea nodosa*, abritent les sables fins et les sables vaseux, ou sur les roches. Elles sont d'un grand intérêt en tant que zones trophiques et nurseries et sont essentielles pour la structuration des fonds meubles. On les trouve dans des profondeurs de 0 à 4 m (RAC/ SPA, 2014).

I-8-5- « Jardins » à éponges

Au niveau du secteur Nord et Nord-ouest de la grande Kuriat ainsi que la façade Nord-ouest de la petite Kuriat une grande densité d'éponges (*Ircina spp*, *Sarcotragus spp*) se situe entre 0 et 2 m de profondeur avec une densité importante (2 à 5 individus/ m²) (RAC/ SPA, 2014).

I-8-6- Tortue caouanne *Caretta caretta*

C'est une espèce emblématique des îles Kuriat qui est le site le plus important situé à l'ouest de la méditerranée. La ponte peut s'étendre d'avril à septembre sur les plages de sable fin (Jribi, 2002). La femelle peut pondre de 64 à 198 œufs (Bardai et Jribi, 1997) et l'incubation peut durer de 45 à 65 jours.

I-8-7- Grande nacre *Pinna nobilis*

La grande nacre se présente avec des densités importantes dans les herbiers de Posidonies entre 35-40 m de profondeur. Cette espèce protégée est menacée par le chalutage, l'ancrage et le ramassage par les plongées (CAR/ASP, 2014).

II- La collecte des données

Afin d'identifier les zones appropriées à l'ancrage écologique autour des îles Kuriat, nous avons opté pour une approche SIG par croisement de couches spatialisées. Pour ce faire, nous avons commencé par l'installation d'une base de données cartographique permettant ainsi de regrouper et spatialiser les différentes informations collectées. Cette étude était basée sur trois volets complémentaires :

- Le premier volet consiste en le travail de terrain pour explorer la zone de travail, ses particularités écologiques, climatologiques et environnementales, observer et délimiter les zones les plus fréquentées par les bateaux de pêche et de plaisance.
- Le deuxième volet est consacré à l'analyse et au traitement spatial des données collectées pour identifier les zones appropriées pour l'ancrage des bateaux.
- Le troisième volet consiste en le choix et la mise en place de dispositif d'ancrage écologique.

II.1 Données existantes

Nous avons essayé de collecter le maximum de données existantes afin d'optimiser le temps alloué à ce travail.

Les données étaient collectées sous différentes formes telles que les données numériques surtout les cartes et les données textuelles disponibles dans les rapports et les études

auprès de différentes institutions. Des données relatives à la biodiversité, sous format papier et shapefile, ont été collectées auprès de l'APAL et le CAR/ASP. Des données relatives au nombre de sortie des bateaux par saison, au nombre de visiteurs par bateau ont été obtenues auprès de La Garde Nationale Maritime sous forme de fiches Excel.

Nous avons aussi fait recours au « Google Earth » pour obtenir des images satellitaires relatives aux positions des bateaux ancrés autour des îles Kuriat.

II-2 Travail de terrain

Le travail de terrain a consisté à visiter la petite île Kuriat pour prendre les coordonnées géographiques, la profondeur ainsi que des photos relatives au fond sous-marin des bateaux de plaisance (balnéaires) et des bateaux de pêche pour connaître la nature de l'habitat où ils jettent les ancres.

Pour ce faire, nous avons utilisé le matériel suivant :

- GPS : outil de navigation pour l'enregistrement des coordonnées géographiques des sites d'ancrage des bateaux.
- Carte marine : utilisée pour l'enregistrement de la bathymétrie.
- Un appareil photo Go PRO : destiné à la prise de photos du fond sous-marin.
- Un appareil photo classique: pour prendre des photos des bateaux ancrés autour de l'île.
- Une vedette : unité de déplacement de 5.20 m de long avec un moteur de puissance 40 chv.

Les déplacements, au nombre de 12 ont eu lieu entre février et juin 2016. Les visites autour de la grande Kuriat ont été plus fréquentes que pour la petite Kuriat étant donné la présence d'un campement sur la grande Kuriat, la rendant plus fréquentée par les pêcheurs que la petite. L'objectif de ces visites étaient d'observer les bateaux de pêche ancrés, les dénombrer, délimiter leurs zones d'ancrage les enquêter par rapport à leurs pratiques de pêche dans la zone. Il a été nécessaire de réaliser des enquêtes auprès des pêcheurs et des plaisanciers afin de mieux localiser les zones les plus fréquentées pour le mouillage. Ces enquêtes ont été faites sous la forme de questionnaire (voir annexe 1). Les ports où ont eu lieu les enquêtes sont La Marina, Ghedir, Kahlia, Teboulba et Sayda.

II- 3- Implémentation des données et analyse spatiale

Au cours de cette étude, plusieurs informations de plusieurs formes ont été collectées. Une fois collectées, on les a implémentées sur une base informatique sous forme de tableur en attendant leur spatialisation.

Les enquêtes (annexe 1) ont été saisies sur tableur réparties sur deux feuilles :

- Une feuille contenant toutes les informations techniques concernant les unités de pêches et de plaisance (matricule, tonnage, longueur, puissance du moteur, profondeur de la coque, de pêche, nombre d'ancre utilisé ainsi que leur tonnage...).
- Une autre feuille regroupant tous les données relatives à la nature du fond sous marin où se fait l'opération de l'ancrage, fréquence d'ancrage par jour et semaine, période de visite...).

Afin de délimiter les zones de mouillage les plus fréquentées par les bateaux et de localiser les zones appropriées à l'ancrage écologique, nous avons procédé à la spatialisation des données puis à un croisement de couches. Pour ce faire, nous avons utilisé le logiciel de SIG QUANTUM GIS QGIS version 2.14.0.

II-3-1- La couche de base

La première étape était la cartographie de la biodiversité aux îles Kuriat. La carte de base était "la bionomie des principales communautés benthiques présentes autour des îles Kuriat (PNUE/PAM-CAR/ASP, 2008)" fournie par le CAR/ASP (annexe 2). Cette carte a été géo référencée. Puis nous avons procédé à la numérisation des différentes communautés benthiques. Cette géo-entité est polygonale

II-3-2- La géo-entité « bathymétrie »

Nous avons acquis les couches relatives aux isobathes sous forme d'un shapefile auprès de Mzoughi (Mzoughi, 2012). Nous nous sommes particulièrement intéressés aux isobathes 2m et 5m vue leur importance dans la délimitation de la zone de mouillage des bateaux autour des îles Kuriat. La bathymétrie est une géo-entité linéaire.

II-3-3- La géo-entité « trait de côte »

Nous avons numérisé le trait de côte à partir d'une carte Google Earth géoréférencée (annexe 3). Ce trait de côte illustre le port punique qui est un ancien port et un site très fréquenté par

les bateaux de pêche ainsi que les quais considérés comme étant un centre de mouvement dans l'île Kuriat. Les unités d'embarcation relative à la base militaire stationnent sur le quai pour le débarquement de différents besoins vitaux. D'autre part, par mauvais temps, beaucoup de bateaux de pêche s'y protègent. Le trait de côte est une géo-entité linéaire.

II-3-4- La géo-entité « zone d'habitats à protection obligatoire »

Elle présente les récifs barrière de posidonie et le fond de maërl.

II-3-5- La géo-entité « positions d'ancrage »

Il s'agit d'une géo-entité ponctuelle illustrant les positions géographiques des bateaux ancrés autour des îles Kuriat obtenues par enquêtes et observations sur terrain.

II-3-7- La géo-entité « zones d'ancrage écologique »

Elle présente les zones potentielles à l'ancrage écologique de toutes les unités d'embarcations.

II-4- Analyse spatiale

Afin de délimiter des zones potentielles d'ancrage écologique nous avons fait les choix suivants:

- l'ancrage devrait avoir lieu sur des fonds sableux car d'une part ils n'abritent pas d'herbiers ni de maërl et d'autre part les fonds rocheux ne sont pas adéquats.

- les sites d'ancrage proposés devraient correspondre à des zones d'ancrage habituelles afin de ne pas brusquer les habitudes des bateaux, ce qui peut amener à un refus des nouvelles propositions. A ce stade nous avons raisonné par catégories de bateaux:

 - les bateaux de pêche: leurs zones habituelles d'ancrage ont été délimitées par enquêtes et représentées sur un thème à part (géo-entité « positions d'ancrage »)

 - les bateaux de plaisance: habituellement ils ancrent dans la tranche 2 et 5 m. Un polygone correspondant à cette bathymétrie a été créé à partir de la géo-entité « bathymétrie ».

 - les bateaux commerciaux: leurs zones habituelles d'ancrage ont été délimitées par enquêtes et représentées par un thème « positions d'ancrage commercial ».

En procédant à l'intersection des fonds sableux avec les zones habituelles d'ancrage, nous avons pu déterminer des zones potentielles d'ancrage écologique pour chaque catégorie de bateaux.

Une fois, ces géo entités ont été installées, nous avons opté à un croisement des différentes couches afin de déterminer les habitats touchés par cette pratique. Pour ce faire, on a croisé les géo entités correspondants aux zones actuelles pour l'ancrage avec la géo entité type de fond pour identifier les habitats touchés. On a obtenu la géo entité « ancrage_habitat ».

III- Conception du dispositif pour l'ancrage écologique

La mise en place du dispositif approprié à l'ancrage écologique demande une étude bien précise qui met en évidence tous les paramètres caractérisant l'environnement, la nature du fond ainsi que les caractéristiques des unités de pêche et de plaisance.

Des propositions ont été faites au nom de l'APAL. Des réunions ont été établies aussi au sein de l'APAL pour discuter les différentes possibilités et finir par adopter le modèle le plus fiable.

Dans notre étude nous nous sommes basés sur le calcul de différentes forces exercées sur le dispositif : le courant sur la coque immergée, le vent sur la coque émergée qui se traduisent par une force totale :

$$F = \frac{1}{2} \cdot (C_w \cdot \rho_w \cdot S_f \cdot V_w^2 + C_a \cdot \rho_a \cdot S_s \cdot V_a^2)$$

avec

C_w et **C_a** : respectivement les coefficients de traînée hydrodynamique et aérodynamique.

Ils peuvent varier de 0.5 à 1.2 selon les formes des bouées et les vitesses de courant.

Cependant, en général on leur donne la valeur 1.

ρ_w et **ρ_a** : respectivement les densités des milieux: mer (env. 1030kg/m³) et air (env. 1.29kg/m³).

S_f est la surface maximale (en m²) du maître-couple immergé.

S_s est la surface (en m²) du maître-couple des superstructures.

V_w et **V_a** sont respectivement les vitesses de l'eau et du vent (en m/s).

Calcul de masse du corps mort : $M = V \cdot D$, avec V : le volume du corps mort, D : Densité du béton armé qui est égale à 2.5 T/m³.

Dans un premier temps, nous avons pensé à installer des dispositifs de type « Harmony » (figure 6). Ces dispositifs les plus utilisés de nos jours. Ils sont très répandus dans les zones de

mouillage écologique vue leur efficacité d'assurer une pratique d'ancrage saine et ne présentent aucun dégâts pour les habitats naturels

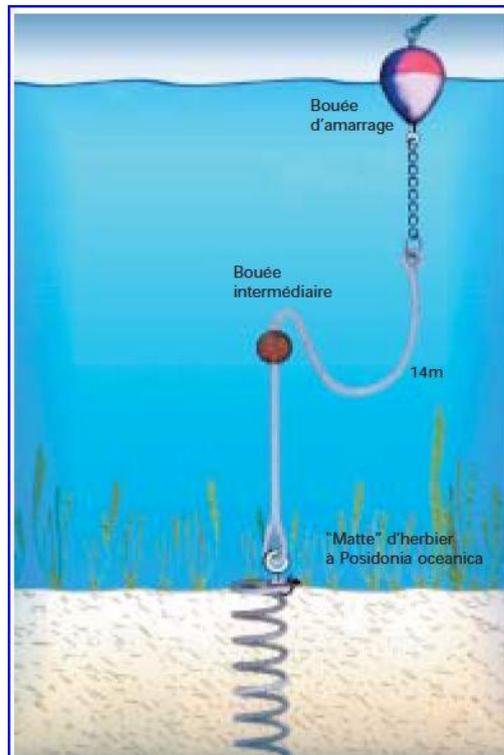


Figure 6 : dispositif de type Harmony (Neptune environnement, 2000)

Dans notre cas, cette méthode n'a pas pu être appliquée vu la faible profondeur des zones destinées à l'ancrage écologique choisies par l'APAL et le CAR/ ASP dans le plan de gestion qu'ils ont élaboré. Cette technique est recommandée pour des profondeurs de 10 m minimum.

L'alternative était d'installer des corps morts sur les fonds sableux. De ce fait on a décidé d'orienter notre étude de fabrication vers des modèles adéquats avec les caractéristiques techniques des balnéaires étant donné qu'il s'agit des plus gros tonnages.

On a utilisé comme outil de conception le logiciel Google Sketchup. C'est un logiciel de modélisation 3D, d'animation et de cartographie orienté vers l'architecture. Ce logiciel se caractérise par des outils simples, qui en font un logiciel de 3D très différent des modélisateurs 3D classiques.

Il était nécessaire de réaliser une modélisation du dispositif d'ancrage écologique. Avant d'atteindre le modèle du corps mort approprié, nous avons effectué différents essais.

Le premier est illustré par un modèle d'ancrage classique (figure 7), sous forme d'un parallélépipède carré de 1 m d'hauteur et une base de 1.8 m de côté correspondant à un volume égale à 3.24 m³. Ce volume donne un tonnage du 8 tonnes. Ce corps mort a été rejeté de l'APAL à cause d'une part de sa hauteur jugée trop grande par rapport à une profondeur de 5 m. D'autre part, le tonnage était insuffisant pour amarrer des balnéaires de 65 tonnes.



Figure 7 : Corps mort essai 1

Par conséquent, on a changé de stratégie : un corps mort plus court, d'une base plus grande et de tonnage beaucoup plus important. La solution la plus adéquate et la plus pratique était de construire des petits blocs et les attacher après les un aux autres au moment de la pose sur le fond. Ces blocs doivent être inférieur à 5 tonnes afin d'avoir la possibilité de les soulever par une grue et les déposer sur un fond sableux.

En outre, il faut mentionner que la pose de ses blocs peut se faire par des parachutes sous contrôle des plongeurs sous-marins.

L'idée du premier dispositif était de construire deux blocs en béton et les déposer l'un du l'autre. La question qui s'est posée est comment attacher les deux blocs ensemble d'une manière pratique et facile à appliquer et d'autre part assurer une liaison forte afin d'assurer le tonnage prévu et éviter toute sorte de détachement sous l'effet des forces de traction exercées par les bateaux.

Pour ce faire, on a utilisé des simples éponges à usage domestique pour la modélisation (figure8). Pour valoriser le dispositif, on a pensé à accorder au corps mort une double fonctionnalité : la première joue le rôle d'ancrage écologique et la deuxième sert comme un récif artificiel. L'idée est de créer des interstices dans le dispositif afin de faciliter la colonisation par les organismes benthiques.



Figure 8 : Modélisation d'un corps mort muni d'un mini récif artificiel essai2

On a essayé d'améliorer le design de notre modèle tout en gardant son efficacité technique (figure 9). Ensuite, on a résolu le problème d'attachement des blocs en première étape par simplement la mise d'un support en béton dans la base (le bloc en dessous) et on dépose au dessus le deuxième. Ce modèle a été rejeté à cause du risque de rupture de l'axe d'attachement en béton sous l'effet des forces de traction.

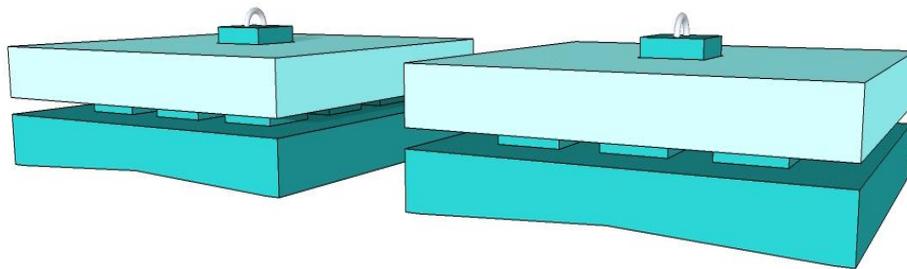


Figure 9 : Corps mort essai 3

Finalement on a opté pour une autre méthode de liaison des blocs en béton, par l'installation des axes en acier à l'extrémité des corps morts (figure 10) fixés dès le début dans le bloc de base (annexe 4).

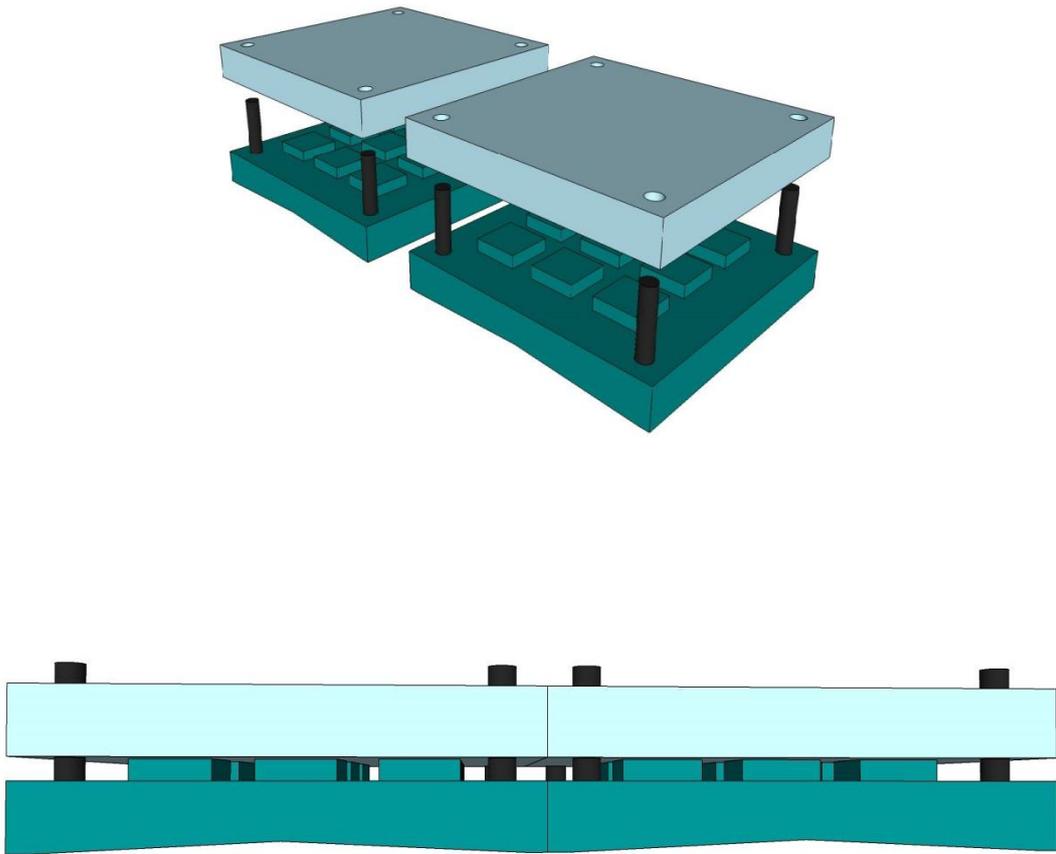


Figure 10 : Corps mort essai 4

Une autre idée de modélisation et d'attachement du corps mort a été prise en considération. Cette méthode est basée sur un simple principe semblable à un jeu de construction (figure 11). Les différents blocs sont attachés les un aux autres par un axe en acier situé au milieu (annexe 5).

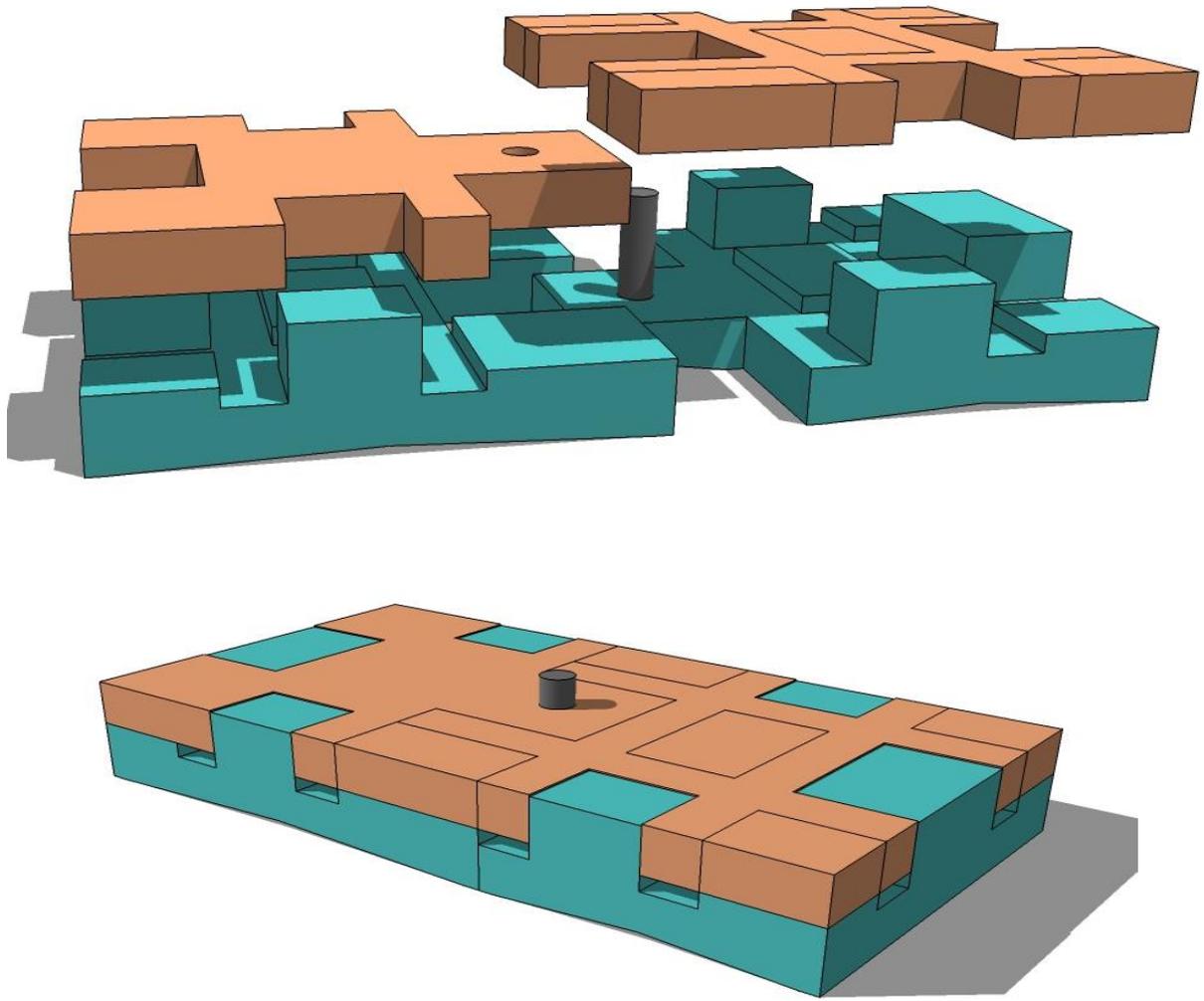


Figure 11 : Corps mort essai 5

Ce modèle était bien apprécié de la part de l'APAL, mais à cause de la difficulté au moment de la fabrication étant donné qu'un tel modèle consiste une haute précision, on est arrivé à choisir le modèle convenable avec les modifications qu'il faut prendre en considération.

IV-Fabrication du corps mort

Pour la fabrication du corps mort, le matériel dont on a besoin est :

- ✓ Béton armé de qualité HRS avec une quantité de 520 kg (13 paquets de 40 Kg)
- ✓ Ferrailages
- ✓ Gravier
- ✓ Sable
- ✓ Deux axes en acier galvanisé de 12 cm de diamètre
- ✓ Tube PVC.

Résultats et discussions

I-Pratiques de pêche

Pour cette étude, des enquêtes ont été réalisées dans différents ports de la région de Monastir : Port Marina Cap Monastir, Port de pêche Kahlia, Port de pêche Ghedir, Port de pêche Teboulba et port de pêche Sayada. Les enquêtes sont au nombre de 55 réparties entre 7 unités commerciales, 8 unités de plaisance et 40 unités de pêche sur une période de 21 jours allant de Février à Mai. Elles sont menées d'une manière directe et aléatoire.

Leur objectif était d'identifier les différentes sortes de pression exercées sur les îles Kuriat par les différentes unités ainsi que les sites d'ancrage les plus fréquentés.

I-1. Les unités commerciales

Les unités commerciales, appelées "balnéaires" localement, sont caractérisées par une longueur allant de 8.82 mètres jusqu'à 22.17 mètres avec un moteur de puissance qui tend de 48 chv vers 450 chv. La profondeur de la coque ('krina') varie entre 80 cm et 190 cm.

Ces unités travaillent pendant une saison bien déterminée qui peut commencer du mois Mai ou même Avril, selon l'activité touristique, et s'étend vers Septembre. Pendant cette saison, les balnéaires ont une fréquence de passage quotidienne vers la petite Kuriat (sauf en période de mauvais temps). Cette fréquence de passage atteint un pic aux mois du Juillet-Août.

L'ancrage a lieu dans une zone sableuse ('bayadha') située à l'Est de la petite île, dans des profondeurs variant entre 3.5 mètres et 5 mètres. Chaque bateau possède une zone de mouillage unique qu'utilise souvent. Les ancres jetées sont de type classiques fabriqués en acier et d'un poids qui varie entre 15 Kg et 30 Kg. Elles sont au nombre de trois par chaque unité.

Notons que chaque balnéaire possède une autre petite barque annexe utilisée pour déplacer les visiteurs à bord de l'île. Le mouillage ainsi s'effectue dans des faibles profondeurs d'environ 50 cm.

I-2. Les unités de plaisance

Concernant les unités de plaisance, leur longueur varie entre 4.8 mètres et 6 mètres, avec une puissance de moteur entre 25 chv et 85 chv. La profondeur de la coque peut aller de 20 cm jusqu'à 80 cm.

Les bateaux de plaisance visitent les deux îles : la petite et la grande durant toute l'année. Pendant la saison hivernale, les visites se limitent pour les week-ends, tandis qu'elles sont

presque quotidienne pendant la période estivale. Ces visites peuvent s'effectuer deux fois par jour : la matinée et le soir.

Ces unités sont équipées par des ancres Américaines : une par bateau, avec un tonnage de 7 Kg et même 20 Kg. L'ancrage a lieu dans les différents types de fonds : sableux vaseux, rocheux et herbier (*posidonie et cymodocea*) dans des profondeurs allant de 2 mètres jusqu'à 20 mètres. La fréquence de mouillage peut atteindre les 20 fois par jour ce qui est considérable.

Les propriétaires des unités de plaisance considèrent cette activité comme un sport de loisir. De ce fait, ils pratiquent la pêche durant la visite : pêche à la ligne, chasse sous-marine, filet maillant, Derra (une sorte de petit chalut)...

La remarque la plus importante c'est que la quasi-totalité des propriétaires sont d'un niveau de scolarité supérieur qui les rend conscients des dégâts environnementaux que peut engendrer la pêche aux arts trainant mais ils la pratiquent malgré cela. Pour eux, leur plaisir prime. Le phénomène qui prend naissance de nos jours, c'est que la pêche de plaisance dépasse son quota et devient une source de revenu secondaire.

I-3. Les unités de pêche

Les unités de pêche se caractérisent par une longueur qui varie entre 5 mètres et 7,8 mètres avec une puissance de moteur entre 11chv et 56 chv. La profondeur de la coque varie entre 20 cm et 100 cm.

Ces barques de pêche appartiennent à différents ports d'attache dont Marina (8%), Ghedir (28%), Kahlia (19%) Teboulba (35%) et Sayada (18%).

La pêche côtière de la région de Monastir se base principalement sur les filets trémails avec une variation de maille entre 30 mm et 34 mm. La saison de la pêche commence principalement dès le printemps (Mars) et finit en automne (Octobre- Novembre).

Les principales espèces cibles sont : *Dicentrarchus labrax*, *Mugil cephalus*, *Mulus barbatus*, *Mulus surmuletus*, *Epinephelus marginatus*, *Dentex dentex*, *Sparus aurata*, *Diplodus vulgaris*,

Diplodus sargus, *Diplodus annularis*, *Oblada melanura*, *Lythognathus mormyrus*, *Sarpa salpa*, *Octopus vulgaris*, *Sepia officinalis*. Toutes les barques côtières sont équipées d'une remonte filet dont 47% utilisent un GPS.

La production de la pêche côtière accuse une diminution progressive d'une année à une autre. Les principales causes de cette régression d'après les pêcheurs sont : la pollution engendrée par l'aquaculture principalement, les eaux d'assainissement se déversant dans la baie de Monastir, l'engin appelé "Derra", les barques de plaisance pratiquant la pêche aux filets, la chasse sous-marine dans ses différentes catégories (à la torche, à la flèche, par les produits chimiques comme le chlore en poudre...), la surpêche, l'augmentation de la flottille... Le manque de surveillance et de contrôle par les autorités nationales marines après la révolution aggrave la situation.

Compte tenu de ces différents facteurs, les pêcheurs fréquentent les îles Kuriat bien qu'il s'agisse d'un site riche et préservé jusqu'à maintenant. En s'y déplaçant, les pêcheurs passent entre deux et trois nuit sur place. Ils déposent leurs filets dans des zones de profondeur allant d'un mètre jusqu'à 20 mètres.

Les sites de mouillage varient selon l'orientation du vent. L'ancrage s'effectue dans des fonds des natures diversifiées. Les enquêtes montrent que 91% ont lieu dans des zones sableuses, 78% vaseuses, 91 % rocheuses et 60% sur des fonds abrités des herbiers (*posidonie et cymodocea*) avec une variation de profondeur entre 20 cm et 100 cm.

Certains pêcheurs mettent leurs barques sur la plage. D'autres s'attachent les uns aux autres. Les pêcheurs jettent leurs ancres une fois par jour à la fin de la journée.

Notons que le mouillage se fait autour de la grande Kuriat beaucoup plus que la petite Kuriat. La fréquence du passage aux îles est estimée à deux fois par semaine qui s'accroît dès le début du printemps.

II-Implémentation des données

II-1- La couche de base

La couche de base correspondant à « la bionomie des principales communautés benthiques présentes autour des îles Kuriat » fournie sous format d'une image par le CAR/ASP est présentée par la carte ci-dessous.

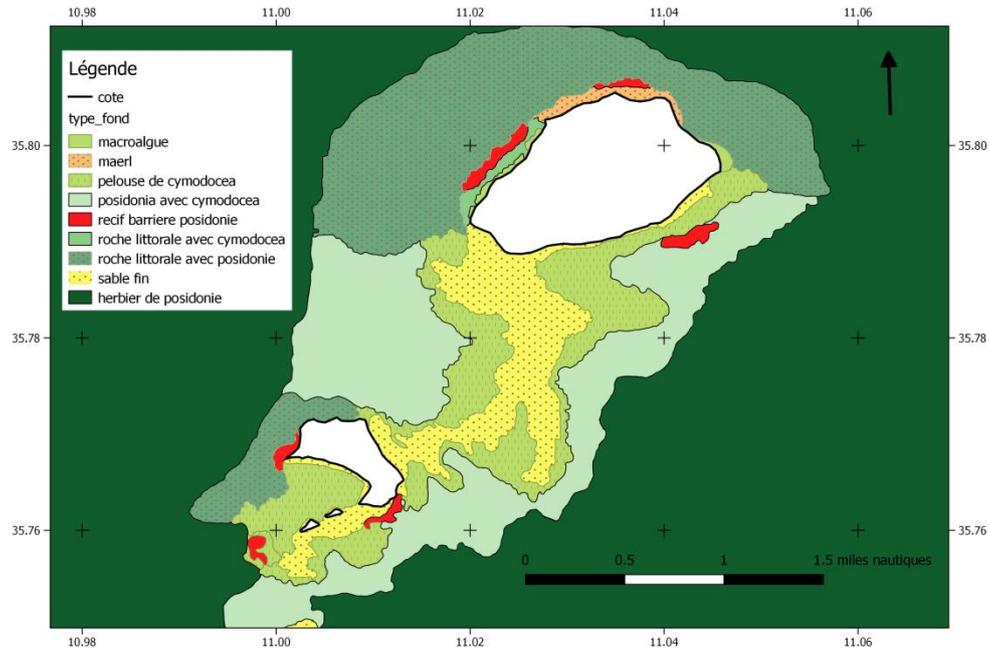


Figure 12 : Bionomie benthique des îles Kuriat

II-2- Les géo-entité trait de côte et bathymétrie

Elles présentent le trait de côte des îles Kuriat ainsi que l'ancien port situé au nord-ouest et le quai situé au nord-est. La couverture bathymétrique est aussi présentée dans la figure 13

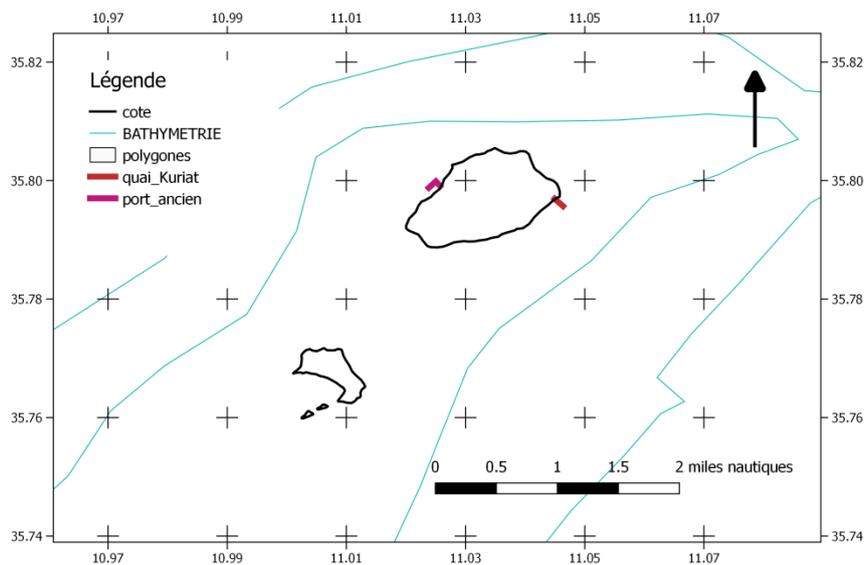


Figure 13 : Zone d'étude (Ben Salah Fadoua, 2016)

II-3- Géo-entité « position-ancrage »

Les enquêtes menées sur le terrain, combinées aux images satellites, nous ont permis de localiser les positions d'ancrage des différents bateaux : pêche, plaisance, commercial (figures 14, 15 16 et 17).

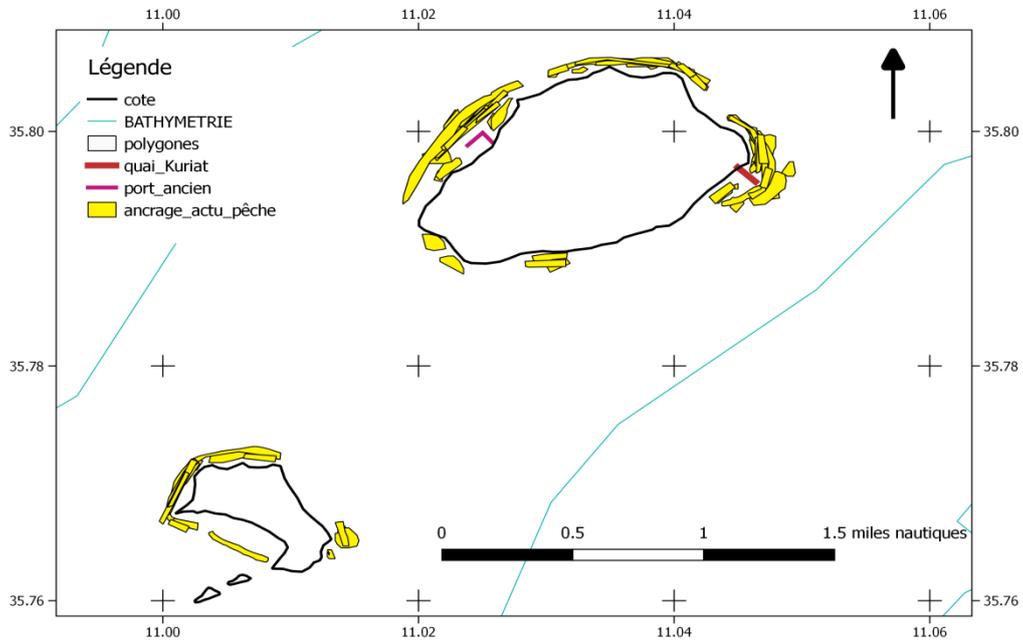


Figure 14 : positions d'ancrage des bateaux de pêche obtenues par enquêtes (Ben Salah Fadoua, 2016), (zone jaune)

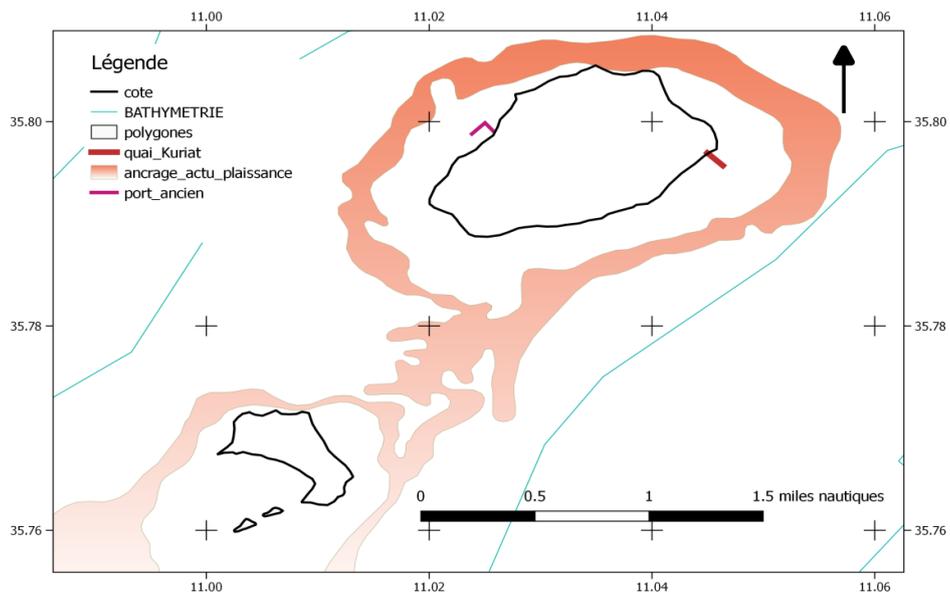


Figure 15 : positions d'ancrage des bateaux de plaisance obtenues par enquêtes (Ben Salah Fadoua, 2016), (zone rouge)

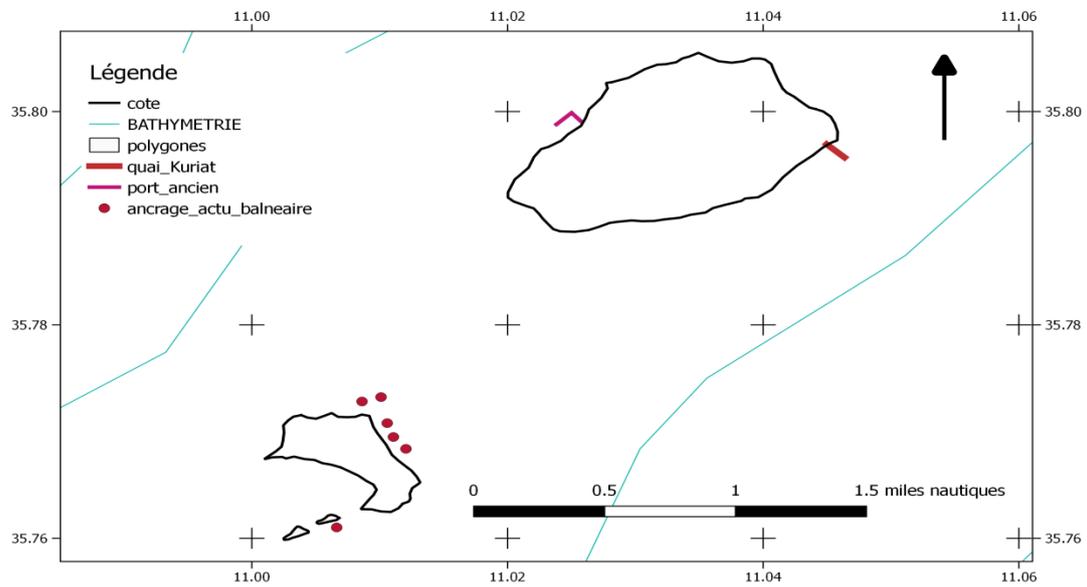


Figure 16 : positions d’ancrage des bateaux commerciaux obtenues par enquêtes (Ben Salah Fadoua, 2016)

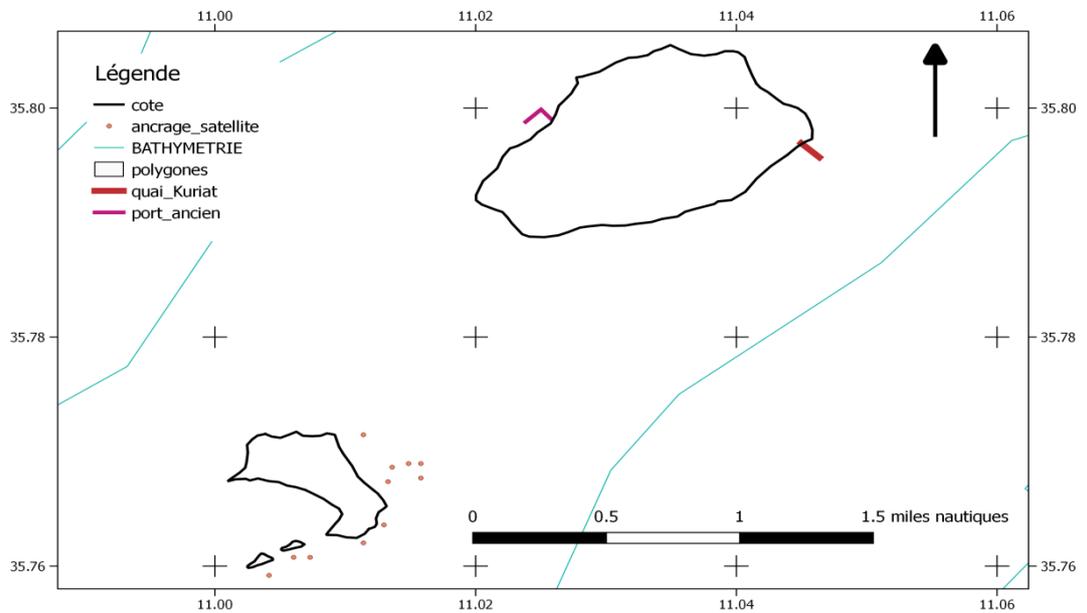


Figure 17 : positions d’ancrage obtenues par images satellite (Ben Salah Fadoua, 2016)

II-4- Géo-entité « zone à protection obligatoire »

Cette géo-entité présente les habitats à protéger absolument -(récif barrière de posidonie et fond du maërl) contre toute activité de destruction telle que le mouillage des bateaux (figure 18).

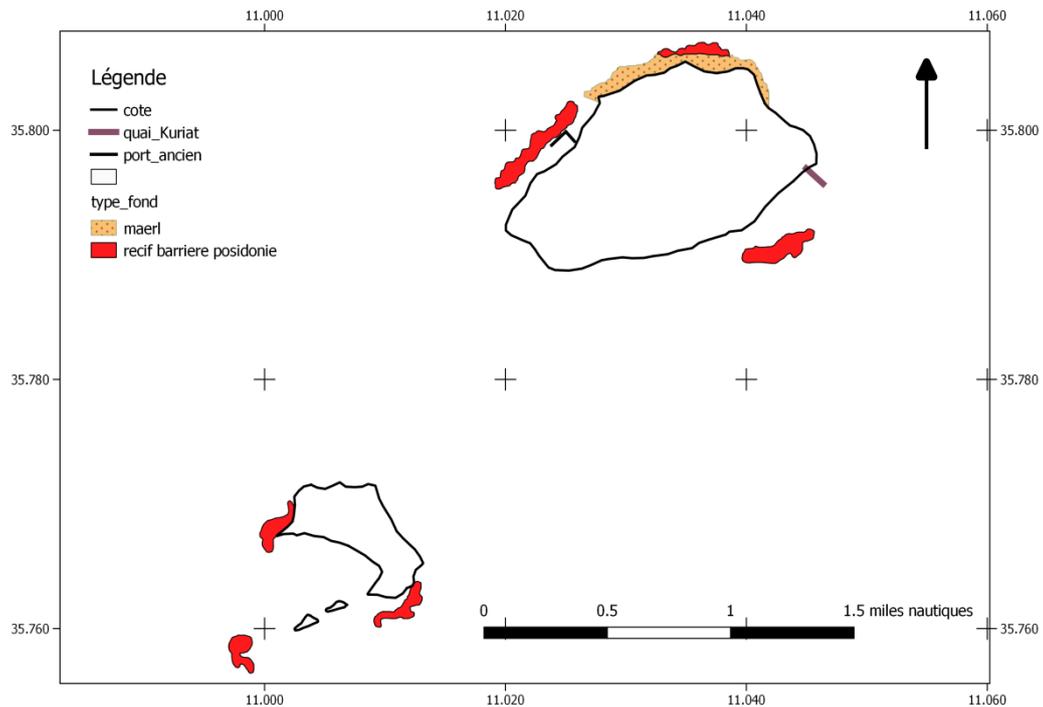


Figure 18 : zone d'habitat à protection obligatoire (Ben Salah Fadoua, 2016)

III- Analyse spatiale

III-1- Habitats touchés par les pratiques d'ancrage

Afin de déterminer les différents habitats touchés par la pratique de mouillage, on a croisé la couche de base présentant le type de fond avec les différentes positions d'ancrage des bateaux. Le résultat est montré dans la figure 19.

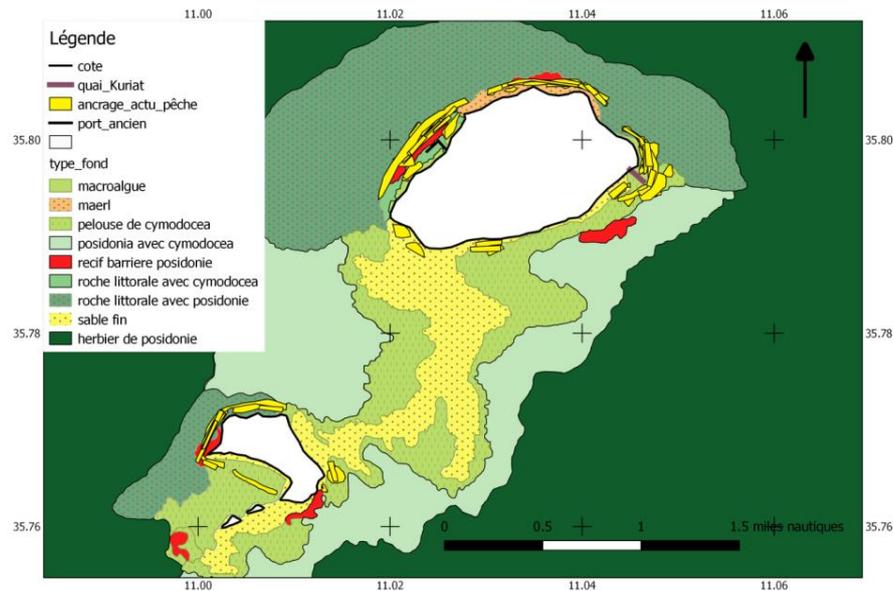


Figure 19 : les habitats touchés par le mouillage des bateaux de pêche (Ben Salah Fadoua, 2016) (zone jaune)

Concernant les bateaux de pêche, les zones fréquentées par le mouillage et impactées sont principalement les récifs barrières situés au sud-ouest et sud-est de la grande Kuriat, au est-sud-est de la petite Kuriat ainsi que les fonds de maërl situés au nord-est et sud-est de la grande Kuriat, les pelouses de *Cymodocea* et les macroalgues. Il en est de même pour les roches littorales avec *Cymodocea* et *Posidonia*.

Pour les bateaux de plaisance, les fonds menacés sont diverses : fonds de maërl, herbier de *Posidonia*, *Posidonia* avec *Cymodocea*, les pelouses des *Cymodocea* et roche littorale avec *Posidonia* autour les deux îles (figure 20).

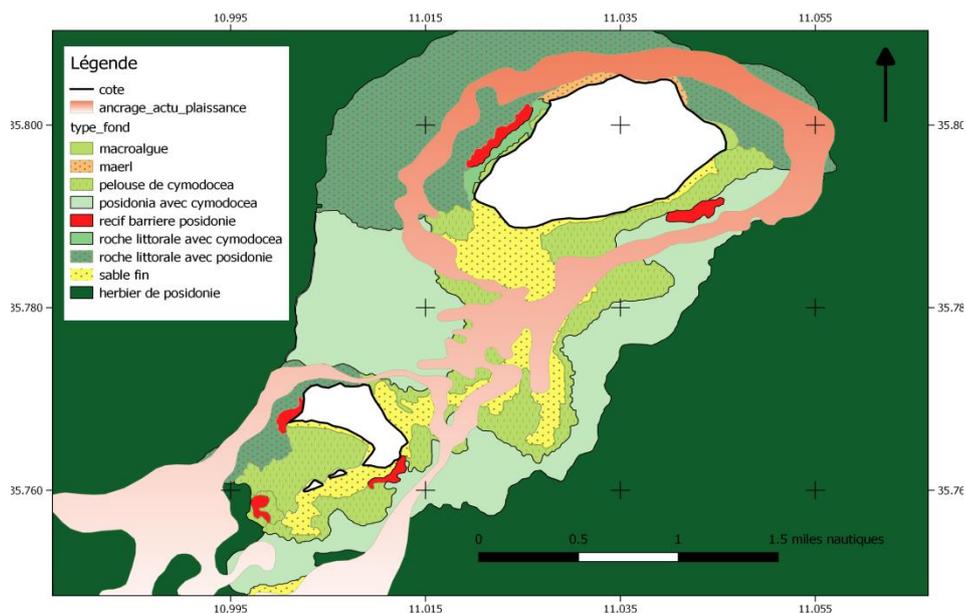


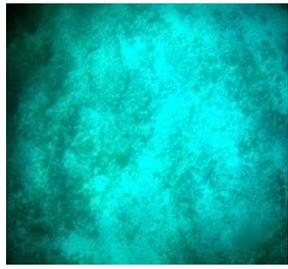
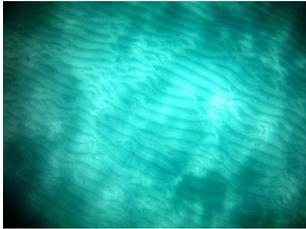
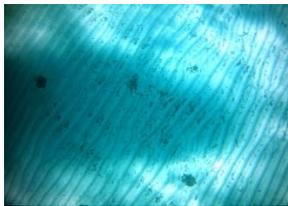
Figure 20 : les habitats touchés par le mouillage des bateaux de plaisance (Ben Salah Fadoua, 2016) (zone rouge)

L'impact des bateaux commerciaux (balnéaires) est concentré autour la petite île sur les fonds à *Posidonia* et *Cymodocea* ainsi que les pelouses des *Cymodocea* (figure 21).

On a pris des photos relatives à chaque unité ainsi que leurs coordonnées GPS et la profondeur pour prouver en plus ce résultat. Le tableau qui suit illustre les différentes données collectées :

Tableau 1 : zones d'ancrage des balnéaires et type de fond

Unité	Coordonné GPS	Profondeur (m)	Photos	Description
Barbarous	35 46 452 N, 110545 E	5	 <p>(Ben Salah Fadoua, 2016)</p>	Fond abrité par des pelouses à <i>Cymodocea</i>

Soltane	35 46 532, 11 0 649.E	5	 <p>(Ben Salah Fadoua, 2016)</p>	Fond abrité par des pelouses à <i>Cymodocea</i>
Hannibal	35 46 295 N, 110 726 E	4	 <p>(Ben Salah Fadoua, 2016)</p>	Fond sableux
Lac Majeur	35 46 245 N 11 0 779 E	4	 <p>(Ben Salah Fadoua, 2016)</p>	Fond sableux
Kuriat	35 46 222 N, 11 0 840 E	4	 <p>(Ben Salah Fadoua, 2016)</p>	Fond abrité par des pelouses à <i>Cymodocea</i> .

Pâcha	35 46 031 N 11 0 893 E	3.5	 (Ben Salah Fadoua, 2016)	Fond abrité par des pelouses à <i>Cymodocea</i> et herbier de <i>Posidonia</i> .
-------	---------------------------	-----	--	--

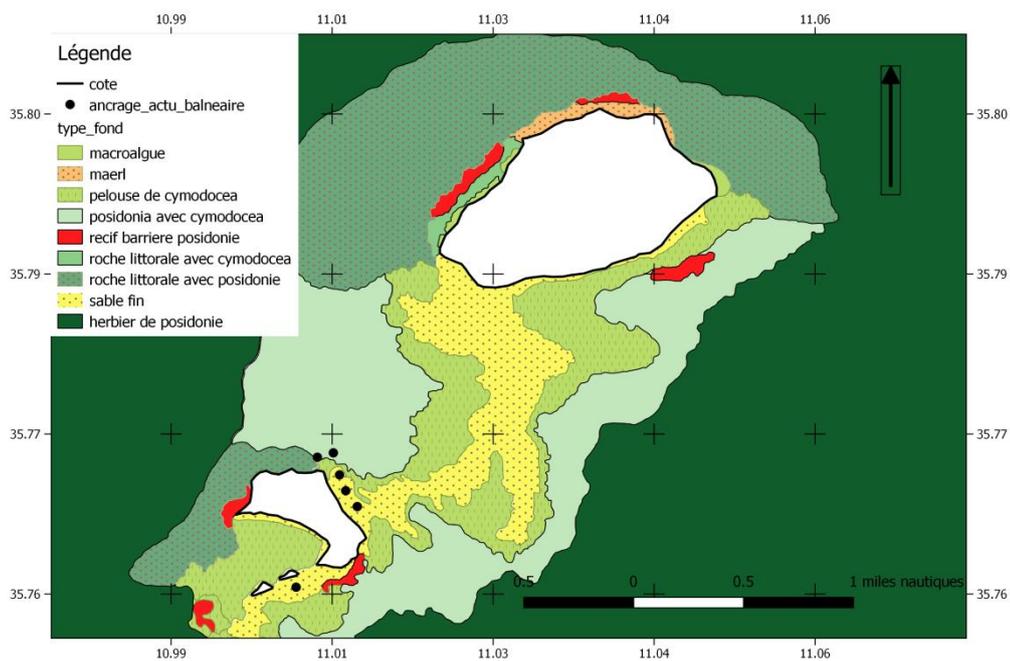


Figure 21 : les habitats touchés par le mouillage des bateaux commerciaux (Ben Salah Fadoua, 2016), (zone noire)

Les images satellites ont montré que les principaux habitats touchés sont le récif barrière de *Posidonia* et les pelouses des *Cymodocea* (figure 22).

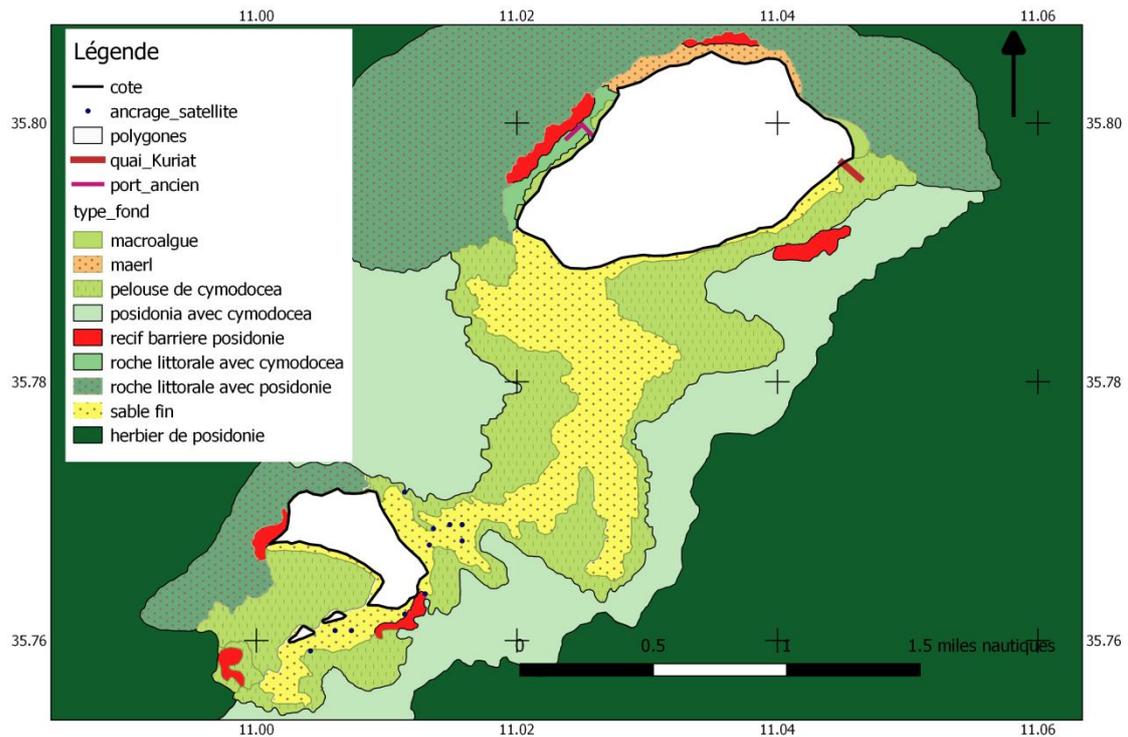


Figure 22 : les habitats touchés par le mouillage des bateaux (Ben Salah Fadoua, 2016).

III- 3- Zone potentielle d’ancrage écologique

Les zones potentielles à l’ancrage écologique sont les zones de nature sableuse. En procédant à l’intersection des fonds sableux avec les zones habituelles d’ancrage, nous avons pu déterminer des zones potentielles d’ancrage écologique pour chaque catégorie de bateaux (figures 23, 24 et 25).

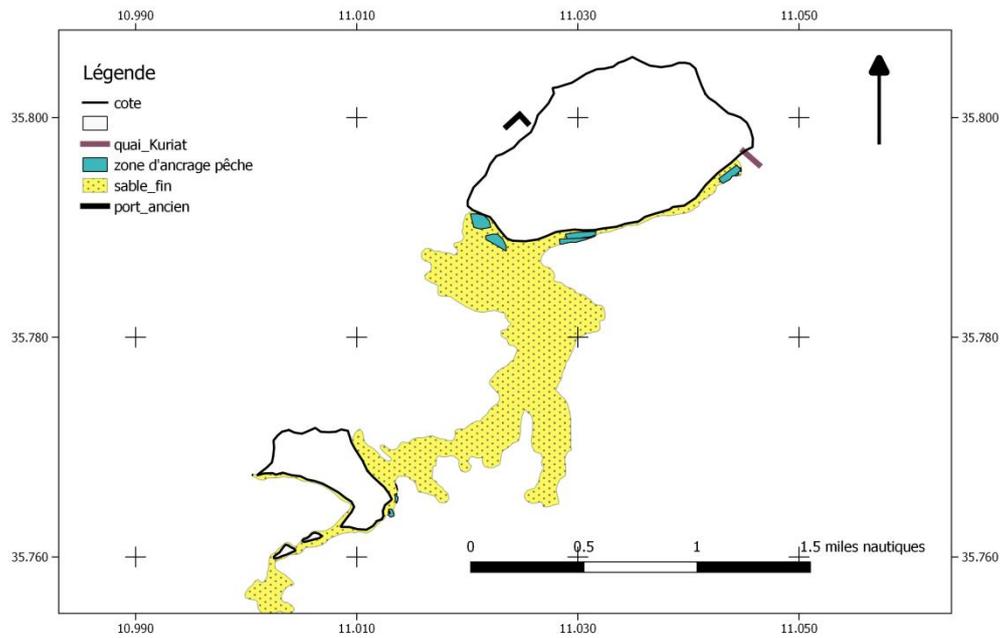


Figure 23 : zones potentielles d'ancrage écologique pour la pêche (Ben Salah Fadoua, 2016), (zone bleue)

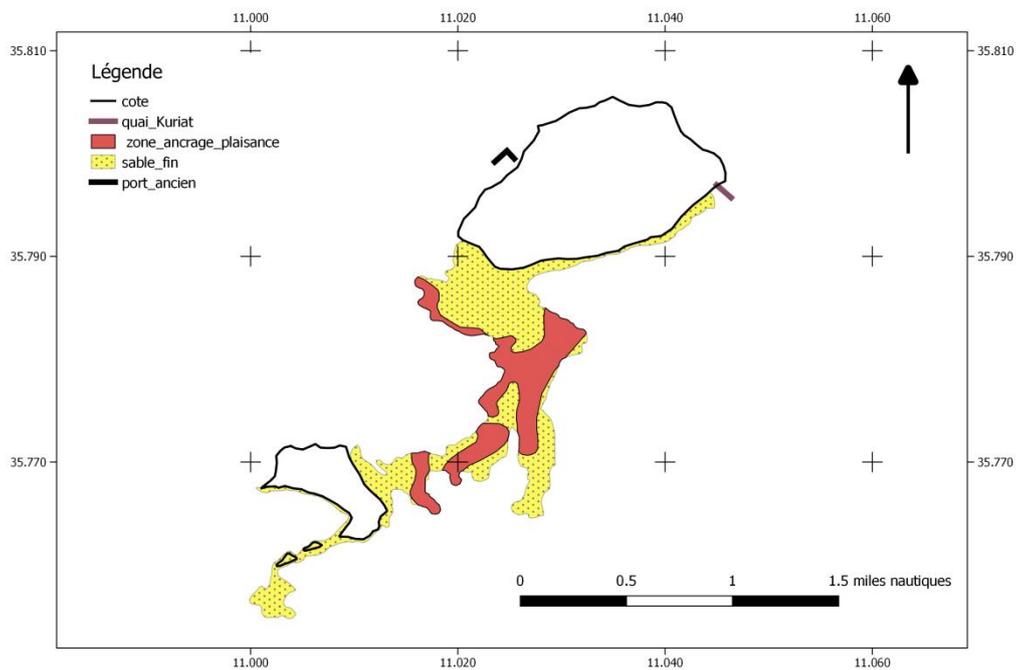


Figure 24 : zones potentielles d'ancrage écologique pour la plaisance (Ben Salah Fadoua, 2016), (Zone rouge)

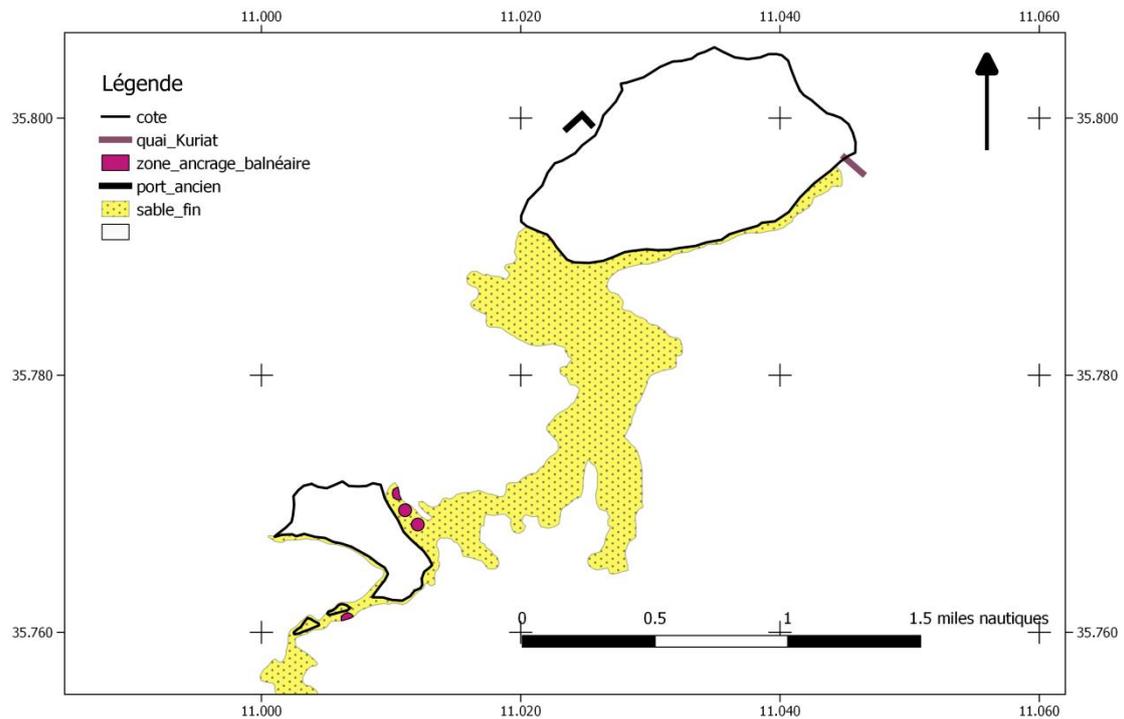


Figure 25 : zones potentielles d’ancrage écologique pour les bateaux commerciaux (Ben Salah Fadoua, 2016)

IV- Conception du dispositif pour l’ancrage écologique

IV-1- Description

Le dispositif pour lequel nous avons opté en concertation avec l'APAL est composé de deux blocs en béton armé déposés l'un sur l'autre (figure 26). Chacun des blocs a la forme d'un parallélépipède carré de 30 cm de hauteur et une base de 2.5 m de côté correspondant à un volume égal à 1.875 m³. Ce volume donne un tonnage de 4.687 tonnes, 9.375 tonnes en totalité. Ce corps-mort possède sous la face inférieure une cavité qui améliore l'effet ventouse de l'ensemble.

Pour la liaison, on a choisi finalement d'installer deux axes en acier situés les deux au milieu près du centre d'inertie du bloc car ce point est le plus robuste pour les garder bien attachés à la base et bien résistants aux forces de traction exercées par les bateaux. Ces deux axes sont munis d'un organeau au sommet servant à l'amarrage des bateaux (annexe 6).

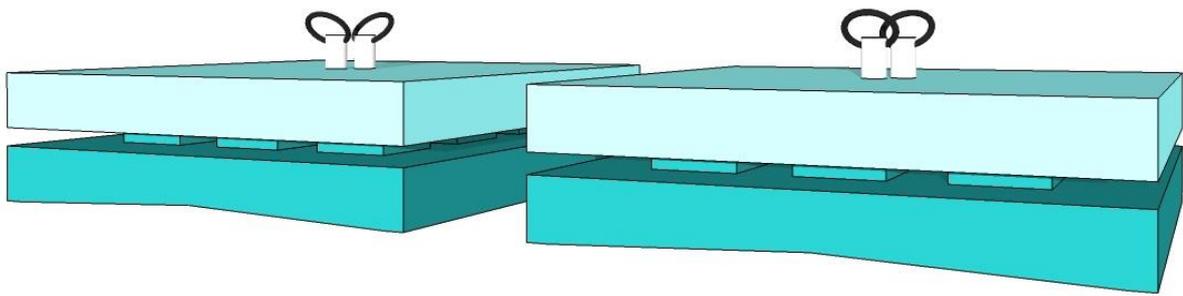


Figure 26 : conception finale du corps mort

Ce dispositif jouera un double rôle puisqu'il servira également de récif artificiel (figure 27). L'idée est basée sur la création d'un labyrinthe permettant la colonisation par la faune benthique, la circulation des juvéniles de poissons et leurs protections contre les prédateurs. Ce labyrinthe offre un tonnage supplémentaire estimé à 400 kg ce qui donne un tonnage total estimé à 9.8 tonnes (9.775 tonnes).

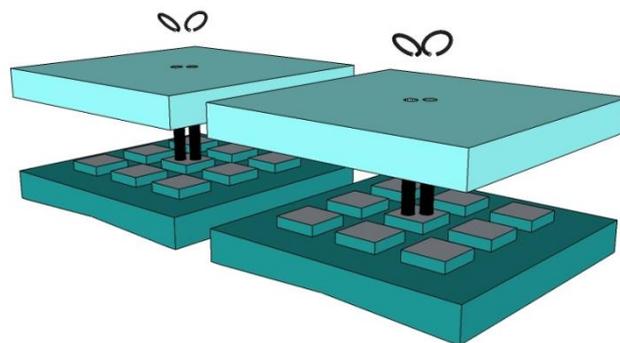


Figure 27 : schéma explicatif du labyrinthe

Le transport va être assuré par la société d'aquaculture «Prima Fish » qui va nous fournir le transport maritime des blocs ainsi que la grue pour la pose.

Pour la fabrication du corps mort, on a besoin de préparer un moule (figure 28) pour qu'on puisse modeler la forme du dispositif en première étape. Puis on prépare le ferrailage (figure 29) pour solidifier la structure et la rendre plus robuste. Enfin, le mélange du béton, gravier et sable est prêt à être déversé dans le moule. Après un temps de séchage, on obtient le bloc.



Figure 28 : le moule du corps mort (Ben Salah Fadoua, 2016)



Figure 29 : le ferrailage du corps mort (Ben Salah Fadoua, 2016)

V- Discussion

V-1- Identification des zones d'ancrage écologique

Pour bien identifier les zones les plus adéquates au mouillage écologique, il faut prendre en considération les zones habituelles d'ancrage des bateaux, les hauts fonds aux alentours des deux îles, les habitats à protection obligatoire. En prenant en compte toutes ces conditions, on a pu dégager les résultats suivants :

- Pour les bateaux commerciaux, les zones de mouillage écologique sont très claires : il s'agit principalement de la zone sableuse autour de la petite île. Il faut dire que les bateaux préfèrent ancrer dans les herbiers pour un meilleur attachement. Par contre, l'attachement de l'ancre au fond sableux est faible. Alors la solution la plus adéquate est d'installer des dispositifs relatifs à l'ancrage écologique comme le corps mort.
- Pour les plaisanciers, la délimitation d'une zone de mouillage écologique est un peu compliquée dans leur cas. En revanche, la marine marchande nous a confirmé que les permis que possèdent ces plaisanciers leur permettent de naviguer à une distance maximale égale à 2 miles nautiques par rapport au port d'attache. Par conséquent, il est complètement interdit de naviguer aux alentours des îles Kuriat (12 miles nautiques), interdiction qui est couramment et constamment bravée.
- Pour les bateaux de pêche, l'identification de zone de mouillage est un peu difficile étant donné le comportement changeant des pêcheurs en fonction des conditions météorologiques.

Suite à notre étude, on a pu délimiter les zones les plus fréquentées pour l'ancrage des bateaux de pêche illustrées par la carte ci-dessous (figure 30):

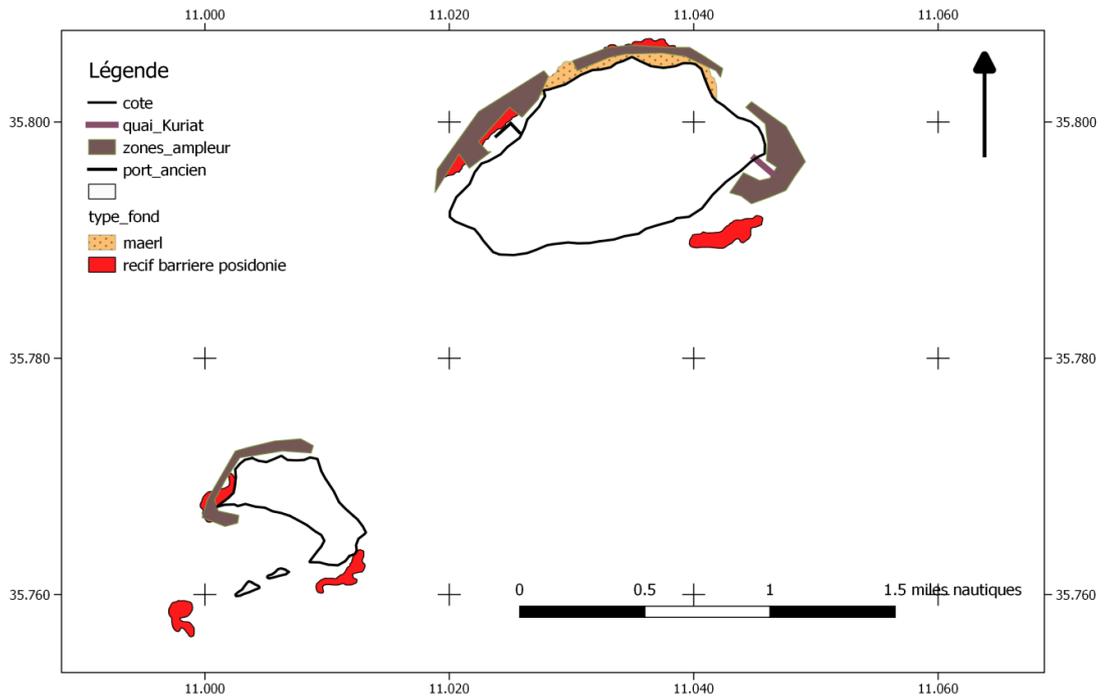


Figure 30 : zones les plus fréquentées à l’ancrage par les bateaux de pêche (Ben Salah Fadoua, 2016), (zones grises)

Pour la grande Kuriat, trois zones ont pu être identifiées : la zone autour de l’ancien port, une zone autour du quai et la troisième située au nord de l’île. Pour la petite Kuriat, une seule était identifiée située au nord-est.

On a aussi pu localiser l’emplacement des hauts fonds autour des îles Kuriat en se basant sur les sorties en terrain ainsi que les images satellites (figure 31).



Figure 31 : localisation des hauts fonds autour des îles Kuriat (Ben Salah Fadoua, 2016), (zone jaune)

Par élimination de toutes zones des hauts fonds et des zones d'habitats à protection obligatoire, ajoutant les zones d'ampleur d'ancrage des bateaux de pêche, on peut délimiter les zones adéquates d'ancrage écologique. Avant de le faire, le plan de gestion des îles Kuriat élaboré par le CAP/ ASP et l'APAL montre les zones de mouillage écologique dans la figure 32 qui suit.

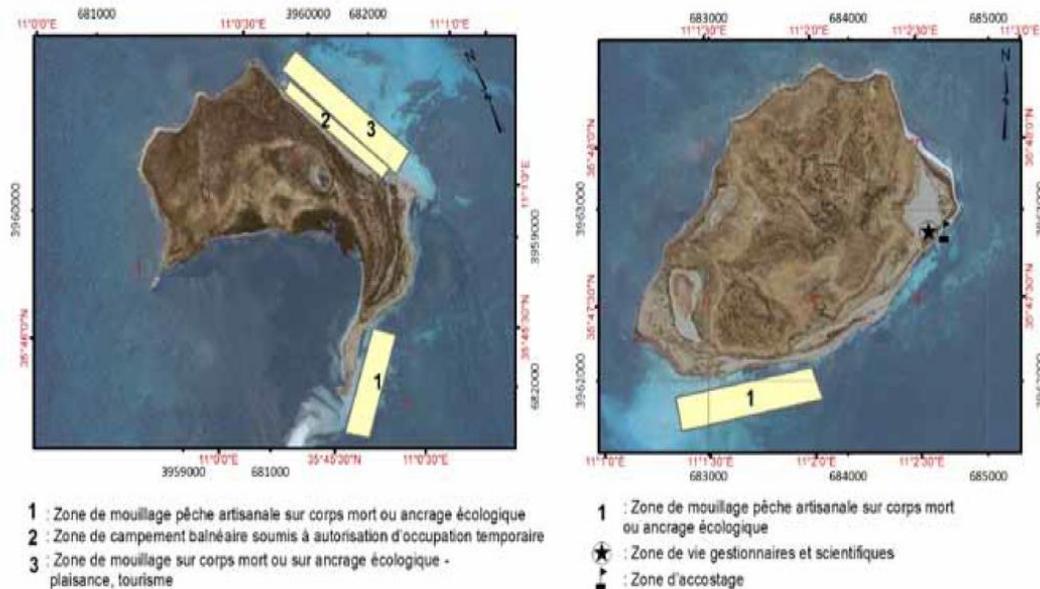


Figure 32 : Localisation des zones de mouillage écologique (CAR/ ASP, 2015)

En se basant sur les différentes cartes, on remarque que les zones choisies autour de la petite île coïncident avec nos résultats puisqu'il a été montré que la zone d'ampleur à l'ancrage des bateaux de pêche correspondant à une zone préférentielle à la pêche au filet trémail.

Par contre, ce n'est pas le cas pour la grande Kuriat, la zone 1 destinée à l'ancrage écologique autour de la grande Kuriat n'est pas favorable car elle s'agit d'une part d'un haut fond et d'autre part d'une zone très ventée en hiver par les vents du nord et nord-ouest d'après les pêcheurs.

En se basant sur ces différentes cartes, les zones favorables à l'ancrage écologique des bateaux de pêche sont : une zone près de l'ancien port et une autre près du quai. Finalement, on peut déduire les zones potentielles à l'ancrage écologique des différentes unités d'embarcation comme suit :

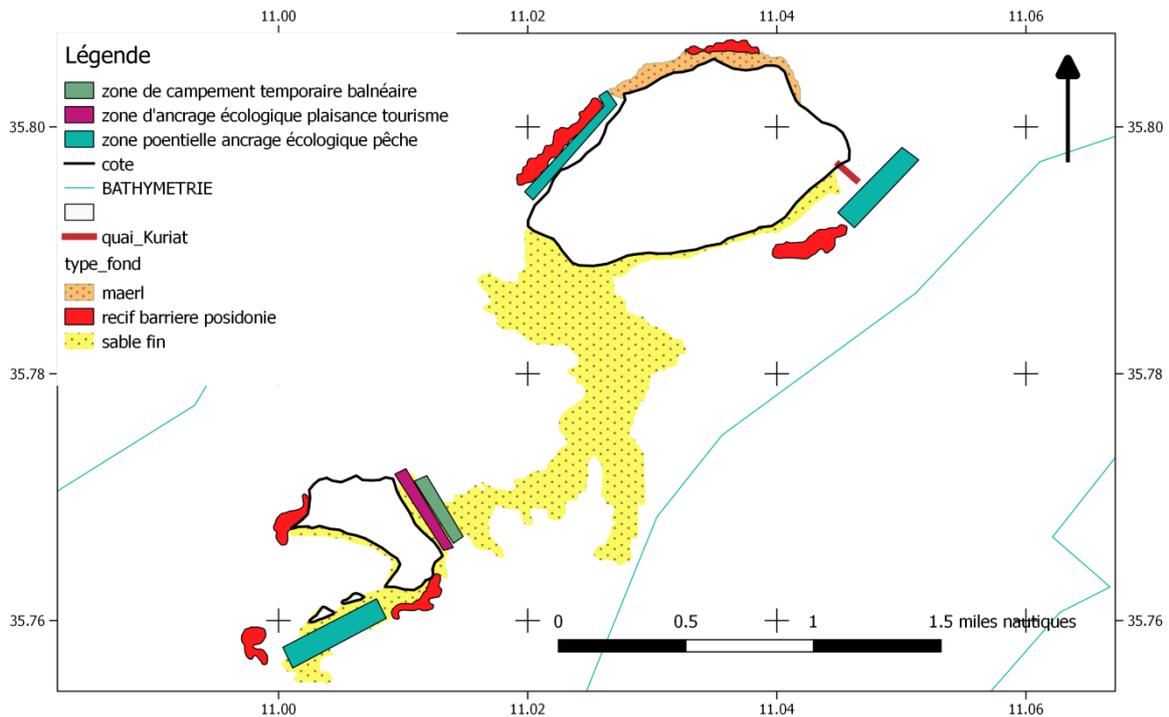


Figure 33 : localisation des zones d’ancrage écologique (Ben Salah Fadoua, 2016)

V-2 Conception du dispositif d’ancrage

Les principaux dispositifs d’ancrage écologique sont le corps mort et ancrage type Harmony. Le but de l’installation de ces dispositifs est la protection de l’écosystème marin contre toute sorte d’activité de destruction d’habitat naturel. De ce fait, il faut s’assurer de l’efficacité du choix du dispositif afin d’achever notre objectif. Dans un premier temps, dans le cadre de notre étude, le type Harmony était le plus favorable puisque ce dispositif ne présente aucun dégât sur l’écosystème (Francour et al., 2006). Mais les critères spécifiques que présentent les îles Kuriat rendent cette installation inconvenable vue la faible profondeur qui ne permet pas la mise de la ligne de mouillage (APAL, 2016), ajouté à cela l’important tonnage des balnéaires. Par conséquent, l’installation d’un corps mort pilote était une solution alternative.

Une étude approfondie était réalisée sous la supervision de l’APAL. On est arrivé enfin à la création du modèle approprié, mais, il faut noter qu’un suivi est primordial après la mise en œuvre de ce corps mort. Par la suite, on peut développer et améliorer l’étude des corps morts. Il faut signaler que c’est la première fois en Tunisie où on a installé des corps mort destinés aux balnéaires. Le problème qui réside en général dans l’installation des corps morts est le

risque d'être trainé par les courants. Ce risque n'existe pas dans notre cas vu son grand tonnage (10 tonnes).

Conclusion

Conclusion

Le présent travail a été consacré à l'étude de faisabilité et de la mise en place d'un mouillage écologique muni d'un récif artificiel dans le but de protéger et préserver les habitats naturels au sein des îles Kuriat contre la pratique d'ancrage des bateaux.

Les cartes des zones potentielles d'ancrage ont été obtenues par le croisement des différents couches telles que les cartes des hauts fonds, la carte des fonds sableux, la carte des habitats à protection obligatoire.

La fabrication du modèle d'ancrage écologique à notre zone a été consacrée aux bateaux commerciaux étant donné que leur zones d'ancrage sont bien identifiées. D'autres solutions ont été identifiées pour l'ancrage des bateaux de pêche.

La principale tendance qui se dégage de ce travail est le risque auquel sont exposés les habitats naturels tel que les récifs barrières de posidonie, le fond de maërl ainsi que la faune benthique tel que les oursins et la grande nacre. Les pratiques de pêche illicite et aux arts trainants contribuent énormément à la destruction des habitats marins d'où la nécessité de surveillance de part des autorités nationales.

On peut conclure que les îles Kuriat sont considérées comme un écosystème riche à biodiversité rare. Elles nécessitent une attention et une vigilance particulière pour leur sauvegarde. De nombreuses actions urgentes doivent être menées face aux problèmes qui peuvent par la suite fragiliser le milieu naturel comme la pêche illicite, la pêche aux arts trainants, la pollution, le mouillage...

Nous pouvons proposer les interventions suivantes :

- Balisage des habitats à protection obligatoire.
- Réaménagement de l'ancien port pour servir à l'amarrage des bateaux ainsi que le quai.
- Suivi annuel des corps morts et le mini récif artificiel pour identifier les changements environnementaux qui les engendrent (colonisation benthique, comptage des poissons...)
- Entretien du corps mort (les anneaux, les axes galvanisés...)
- Suivi d'enfouissement du corps mort
- Marquage de position du corps mort par une bouée.

- Identification d'état zéro de la zone avant la pose du corps mort.
- Installation des panneaux de consignes dans les ports comme outils d'information de la présence du corps mort.
- Sensibilisation des pêcheurs, plaisanciers, investisseurs sur l'impact de pratique d'ancrage sur les habitats marins et biodiversité marine.
- Suivi de l'efficacité du dispositif d'ancrage d'un point de vue utilité et pratique par un questionnaire visé aux utilisateurs et par observation.
- Une surveillance obligatoire par les autorités nationales
- Mettre les îles Kuriat dans un cadre d'une aire marine protégée et côtière par la création du cadre législatif adéquat ce qui est justifiée par l'initiative de la mise d'un plan de gestion élaboré par l'APAL et le CAR/ ASP qui met en évidence toutes les parties prenantes comme les pêcheurs, les associations, les investisseurs, les institutions nationales...

Sommaire

Introduction	1
Introduction	2
Problématique et objectif.....	4
I- Les aires marines protégées	5
I-1- Définition et rôles	5
I-2- Les aires marines protégées en Tunisie	5
I-1-1- Liste des AMPs en Tunisie et raisons de création.....	5
I-1-2- Liste des AMPs à venir et raisons de leur création	6
II- Les menaces sur la biodiversité	7
II-1- Pollution	7
II.2 Le trafic maritime	8
II-3- La pêche	8
II-4- Changement climatique :.....	9
II-5- Problématique de l'ancrage des bateaux.....	9
Matériels et méthodes.....	14
I- Présentation de la zone d'étude.....	15
I-1- Situation géographique.....	15
I-2- Bathymétrie	16
I-3- Courantologie	16
I-4- Marée.....	16
I-5- Houle	16
I-6- Le vent.....	17
I-7- La température.....	17
I-8- La biodiversité.....	17
I-8-1- Herbier de <i>Posidonia oceanica</i>	17
I-8-2- Fond de maërl.....	18
I-8-3- Forêt à <i>Cystoseira spp</i>	18
I-8-4- Association à <i>Cymodocea nodosa</i>	18

I-8-5- « Jardins » à éponges.....	19
I-8-6- Tortue caouanne <i>Caretta caretta</i>	19
I-8-7- Grande nacre <i>Pinna nobilis</i>	19
II- La collecte des données	19
II.1 Données existantes.....	19
II-2 Travail de terrain	20
II- 3- Implémentation des données et analyse spatiale	21
II-3-1- La couche de base.....	21
II-3-2- La géo-entité « bathymétrie »	21
II-3-3- La géo-entité « trait de côte »	21
II-3-4- La géo-entité « zone d’habitats à protection obligatoire ».....	22
II-3-5- La géo-entité « positions d’ancrage ».....	22
II-3-7- La géo-entité « zones d’ancrage écologique ».....	22
II-4- Analyse spatiale	22
III- Conception du dispositif pour l’ancrage écologique.....	23
IV-Fabrication du corps mort	28
Résultats et discussions	29
I-Pratiques de pêche	30
I-1. Les unités commerciales.....	30
I-2. Les unités de plaisance	30
I-3. Les unités de pêche	31
II-Implémentation des données	32
II-1- La couche de base	32
II-2- Les géo-entité trait de côte et bathymétrie	33
II-3- Géo-entité « position-ancrage »	34
II-4- Géo-entité « zone à protection obligatoire »	36
III- Analyse spatiale	36
III-1- Habitats touchés par les pratiques d’ancrage.....	36
III- 3- Zone potentielle d’ancrage écologique	41
IV- Conception du dispositif pour l’ancrage écologique.....	43
IV-1- Description	43
V- Discussion	46
V-1- Identification des zones d’ancrage écologique	46
V-2 Conception du dispositif d’ancrage.....	49

Conclusion..... 52

Annexes

Références bibliographiques