

COLLÈGE SCIENCES & TECHNOLOGIES POUR L'ÉNERGIE ET L'ENVIRONNEMENT DE LA COTE BASQUE
Université de Pau et des Pays de l'Adour
Licence Biologie des Organismes

Suivi par photo-identification et étude comportementale des tortues vertes (*Chelonia mydas*) et imbriquées (*Eretmochelys imbricata*) de la Vasière des Badamiers (Mayotte)



DABRIN Xavier

**Stage effectué du 01 juin 2020 au 31 juillet 2020 à l'association OULANGA NA NYAMBA,
33 bis boulevard des crabes, 97615 Dzaoudzi, Mayotte**

Sous la direction scientifique de Mr François-Elie Paute

"Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil"

Remerciements

Je tiens à remercier François-Elie Paute sans qui ce stage n'aurait pu être possible. Merci à lui pour son dévouement et son engagement en tant que maître de stage mais aussi en tant que plongeur pour sa transmission de données malgré le contexte particulier entraînant ce travail à distance. Pour son temps avec de nombreux appels durant lesquels il n'a cessé de me transmettre ses connaissances. Et merci de m'avoir permis de faire perdurer cette envie que nous avons de protéger les océans.

Merci également à tous les membres, bénévoles ou non de l'association pour le travail qu'ils effectuent et leur engagement pour cette cause qui est si noble.

Enfin, je souhaite remercier Almodis Vadier qui a effectué son stage du 27 avril au 19 juin 2020 et qui m'a permis d'éclaircir certains points et qui m'a permis par la qualité de son travail effectué en amont de poursuivre celui-ci et de faire en sorte que le suivi soit constant.

Table des matières

1. INTRODUCTION	1
2. MATÉRIELS ET MÉTHODES	4
2.1. MATÉRIEL BIOLOGIQUE	4
<i>La tortue verte, Chelonia mydas (Cm)</i>	4
<i>La tortue imbriquée, Eretmochelys imbricata (Ei)</i>	4
2.2. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE	4
2.3. COLLECTE DES DONNÉES	6
2.4. BANCARISATION DES DONNÉES	7
<i>Classification des données brutes</i>	7
<i>Identification des individus</i>	8
<i>Exportation et ajout de différents champs à la banque de donnée</i>	9
2.5. EXPLOITATION DES DONNÉES	10
<i>Cartographie</i>	10
<i>Estimation de la taille des populations</i>	10
<i>Impact du protocole d'étude</i>	11
3. RÉSULTATS	11
EFFORT DE PROSPECTION ET ACCESSIBILITÉ DE LA VASIÈRE	11
CARACTÉRISATION DES POPULATIONS DE TORTUES FRÉQUENTANT LA VDB	13
<i>Espèces et stade de développement</i>	13
<i>Estimation de la taille de la population</i>	15
MISE EN ÉVIDENCE DE L'AIRES DE RÉPARTITION DES ACTIVITÉS RECENSÉES	17
<i>Répartition des individus</i>	17
<i>Étude comportementale</i>	19
ÉTUDE DE L'IMPACT DU SUIVI	20
4. DISCUSSION	21
FIDÉLITÉ	21
OCCUPATION GÉOGRAPHIQUE	22
ESTIMATION DE LA POPULATION	23
COMPORTEMENT	24
IMPACT ET DIFFICULTÉS DU SUIVI	24
5. OUVERTURE.....	26
6. CONCLUSION	27
8. RÉFÉRENCES	28
ANNEXES	30
RÉSUMÉ.....	35

Liste des figures

Figure 1a : Vue aérienne de Petite-Terre (Mayotte), 1b : Vue aérienne de la vasière des Badamiers	1
Figure 2 : Exemple des sorties terrain effectuées	5
Figure 3 : Identification sous TORSOOI	8
Figure 4 : Nombre d'individus observés en fonction du temps de prospection depuis le mois de janvier 2020.....	11
Figure 5 : Nombre d'observations en fonction de l'indice de turbidité.....	12
Figure 6 : Histogramme du delta entre l'étale effective et l'étale théorique en fonction de la hauteur de la marée.....	13
Figure 7 : Histogramme du nombre d'observations en fonction de la date de terrain entre le 27 avril 2020 et le 20 juillet 2020	14
Figure 8 : Courbe du nombre d'observations en fonction de la hauteur de marée	14
Figure 9 : Pourcentages d'individus juvéniles et adultes présents dans la VdB	15
Figure 10 : Nombre d'observation de chaque individu identifié depuis le 27 avril 2020	15
Figure 11 : Frise chronologique des premières apparitions des individus observés entre le 27 avril et le 20 juillet 2020	16
Figure 12 : Heat map de la répartition des tortues observées depuis janvier 2020.....	17
Figure 13 : Heat map de la répartition des observations de Cellule depuis janvier 2020.....	18
Figure 14 : Heat map de la répartition des observations d'Harlaque depuis janvier 2020	18
Figure 15 : Heat map de la répartition des observations de Petit point - superman depuis janvier 2020..	19
Figure 16 : Histogramme des comportements chez certains individus.....	19
Figure 17 : Moyenne des fréquences de fuite en fonction de l'indice de turbidité.....	21
Figure 18 : Taux de fuite en fonction de l'indice de turbidité du 27 avril au 01 juin.....	25

Liste des tableaux

Tableau 1 : Matériel nécessaire aux sorties terrain et leurs fonctions	6
Tableau 2 : Éthogramme (Lange, 2016)	9
Tableau 3 : Comportement de fuite observé lors de la mise en place du protocole	20

Liste des annexes

Annexe 1 : Schéma de la dossière et du plastron de la tortue marine.....	30
Annexe 2 : Une tortue verte, <i>Chelonia mydas</i> . Ici Harlaque	31
Annexe 3 : Clé de détermination des tortues marines.....	32
Annexe 4 : Une tortue imbriquée, <i>Eretmochelys imbricata</i>	33
Annexe 5 : Fiche d'identité de la tortue imbriquée non-identifiable	34

Liste des abréviations

CJS : Cormack-Jolly-Seber

Cm : *Chelonia mydas* (Tortue verte)

CMR : Capture-Marquage-Recapture

COVID-19 : COronaVirus Disease 2019

Ei : *Eretmochelys imbricata* (Tortue imbriquée)

GPS : Global Positioning System

IFREMER : Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER

ONN : Oulange Na Nyamba

PMT : Palme Masque Tuba

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

VdB : Vasière des Badamiers

1. Introduction

Les tortues marines sont des animaux migrateurs appartenant au groupe paraphylétique des reptiles. Ces tétrapodes sont ectothermes, leur corps est recouvert d'écaille et leur carapace hydrodynamique est formée d'une dossière et d'un plastron ventral (Annexe 1). Tout comme leurs cousines terrestres, elles sont ovipares et ont une respiration aérienne. Elles ont cependant des caractéristiques anatomiques spécifiques comme la modification de leurs membres inférieurs en nageoires (ou palettes natatoires) (Wyneken, 2001).

Aujourd'hui, 7 espèces distinctes sont recensées dans le monde. Ces espèces sont partagées en deux familles : les Dermochélidés et les Chélonidés.

Les Chélonidés se composent de 6 espèces différentes, à savoir les tortues vertes ou *Chelonia mydas*, les tortues imbriquées ou *Eretmochelys imbricata*, les tortues caouannes ou *Caretta caretta*, les tortues olivâtre ou *Lepidochelys olivacea* les tortues de kemp ou *Lepidochelys kempii* et les tortues dos plat ou *Natator depressus*. Les Dermochélidés ne sont aujourd'hui composées que d'une seule espèce : les tortues luths ou *Dermochelys coriacea*.

Malgré leur importante considération par le grand public et l'image qu'elles renvoient, elles sont à l'heure actuelle toutes présentes sur la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). Présentes sur cette liste car considérées en voie d'extinction, les principales causes de ce funeste destin sont le braconnage, la pollution et la destruction de leurs habitats. De plus, elles sont catégorisées comme étant des espèces parapluies, ce qui signifie que leur préservation et leur protection permet la conservation d'autres espèces faisant partie de leur niche écologique.



Figure 1a : Vue aérienne de Petite-Terre (Mayotte),
1b : Vue aérienne de la vasière des Badamiers

Ces habitats, qu'ils soient de reproduction ou de développement sont particulièrement riches et adaptés à ces espèces dans l'océan Indien. Dans le même secteur regroupant Mayotte, la Réunion, Madagascar et les îles éparses pas moins de 5 espèces sur les 7 existantes s'y trouvent à savoir les tortues vertes, imbriquées, olivâtres, caouannes et luths (Frappier, 2006). Les tortues vertes et imbriquées ont développé un comportement de fidélisation d'un milieu spécifique, considéré comme une aire de croissance par sa richesse alimentaire ; il s'agit de la Vasière des Badamiers, sur l'île de Petite-Terre à Mayotte (Figure 1).

La Vasière des Badamiers se trouve à l'interface entre le milieu terrestre et le milieu marin, c'est une lagune littorale particulière puisqu'elle est alimentée en eau salée grâce à trois exutoires (Figure 1) mais également en eau douce par les ruisseaux. Cet écosystème marin littoral constitue un écotone diversifié et un capital écologique fragile sur lequel repose la survie et le maintien de nombreuses espèces (Ballorain, 2010).

L'association Oulanga Na Nyamba (ONN), créée en 1998 s'engage et œuvre pour la protection de l'environnement et plus particulièrement des tortues marines de Mayotte. Les tortues marines étant des espèces primordiales pour l'équilibre et le bon état des écosystèmes marins, l'association a à cœur de préserver ce symbole mahorais. L'association, essentiellement composée de bénévoles, s'oriente vers des actions de sensibilisation du grand public et des enfants mahorais avec des interventions en milieu scolaire ou l'organisation de sortie de sensibilisation / observation sur les lieux de pontes. Également, la présence des bénévoles sur les plages de pontes de jour comme de nuit est utile pour la surveillance de ces sites sensibles et sujets au braconnage.

Depuis 2010, un suivi des tortues par photo-identification participatif est lancé. Ce protocole permet ainsi aux bénévoles d'identifier des tortues présentes sur le site de la Vasière des Badamiers dans le but de s'y nourrir. Cependant, le suivi capture-marquage-recapture (CMR) n'est encore qu'à ses prémices et donc irrégulier, avec des interruptions de suivi pendant plusieurs mois. Depuis le début de l'année 2020, ce suivi est donc réalisé avec plus de rigueur et de régularité afin d'en exploiter les données sur le long terme. L'ensemble des actions menées par les membres bénévoles et employés permettent à l'association de se faire de plus en plus connaître dans le domaine de la protection des tortues marines et ainsi de développer un réseau collaboratif avec différents acteurs. Mais ce n'est qu'à partir d'avril 2020 qu'une réelle étude de suivi par photo-identification et comportementale des tortues de la Vasière des Badamiers a été mise en place dans le cadre de deux stages : celui d'Almodis Vadier, étudiante en Master 1 Génie Écologique à l'université de Poitiers ainsi que celui-ci.

Cette étude est effectuée en prolongation de celle réalisée par Almodis Vadier entre avril et juin 2020 et a pour but une analyse à moyen terme pouvant être étendue à du long terme en continuant un suivi régulier et rigoureux. Ce suivi est nécessaire pour en apprendre plus sur ces espèces, comprendre la raison de leur présence et ainsi les protéger. Cet endroit étant relativement clos, il est intéressant d'en comprendre le fonctionnement au niveau faunistique. Enfin, les tortues étudiées étant des espèces parapluie, leur étude est utile pour également préserver le reste de l'écosystème.

Les objectifs de ce travail de stage sont de réaliser :

- un suivi accompagné d'une méthode de Capture-Marquage-Recapture par photo-identification pour identifier les tortues vertes (Cm) et les tortues imbriquées (Ei) permettant une estimation de la taille des populations de ces deux espèces et l'éventuelle apparition de nouveaux individus ;
- la mise en évidence d'une fidélité des juvéniles à ce lieu particulier ;
- l'étude du comportement et les habitudes de ces deux espèces pour déterminer la ou les raisons de leur présence dans la VdB ;
- l'étude de l'impact du protocole CMR par photo-identification, car bien que reconnue comme moins invasive que les techniques de marquage par bagues, l'approche des individus constitue tout de même une intrusion dans l'espace personnel de la tortue.

Afin de cibler au mieux ce sujet, la première partie sera consacrée à la présentation des matériels et méthodes à savoir le matériel biologique regroupant les deux espèces de tortues marines, le contexte géographique ainsi que les différentes méthodes utilisées de la collecte de données jusqu'à l'exploitation de celles-ci en passant par leur bancarisation.

Cette partie sera suivie de la présentation des résultats obtenus. Ces résultats regrouperont les caractéristiques des populations ainsi que l'étude de leur comportement. Ils permettront ainsi d'illustrer et de répondre à notre sujet.

La troisième partie sera dédiée à la discussion et l'analyse de ces résultats pour déterminer ce qui est à retenir de cette étude mais également pour affirmer ou infirmer nos hypothèses.

Pour finir, la conclusion et l'ouverture porteront sur les points clefs à retenir du projet ainsi que les projets futurs liés de près ou de loin à celui-ci.

Cette étude a été rendue possible grâce à l'association Oulanga Na Nyamba, l'ensemble des bénévoles et surtout monsieur François-Elie Paute, chargé de mission scientifique salarié de l'association, chargé de l'animation de Plan National d'Action en faveur des tortues marines de Mayotte. Ce dernier a été plus qu'impliqué dans ce projet. En raison des risques sanitaires liés à l'épidémie causée par le virus COVID-19, le déplacement à Mayotte n'a pu être réalisé. De ce fait, le traitement, l'étude et l'analyse des données ont été entièrement réalisés en télétravail depuis la métropole. La récolte des données sur le terrain a été réalisée par monsieur Paute, qui plonge dans la vasière dès que les conditions le permettent afin d'effectuer le suivi et de capturer des clichés et vidéos des différents individus présents dans la VdB.

2. Matériels et méthodes

2.1. Matériel biologique

Au cours de cette étude nous nous concentrerons sur les deux espèces les plus présentes à Mayotte, à savoir la tortue verte et la tortue imbriquée (QUILLARD, 1994) :

La tortue verte, *Chelonia mydas* (Cm) (Annexe 2) :

Il s'agit de la plus grande des tortues de mer à carapace dure. Cette carapace est composée de quatre écailles costales et de cinq vertébrales, les écailles de la dossière sont juxtaposées. Sa tête est constituée d'un bec arrondi à bord dentelé lui permettant de broyer les herbes sous-marines et une seule paire d'écailles préfrontales. Une autre de ses caractéristiques d'identification est la présence d'une seule griffe sur chaque nageoire (Wyneken, 2001) (Fretey, 2015) (Manire et al., 2017). (Annexe 3). Son régime alimentaire est évolutif. Aux stades de nouveau-né et de juvénile pélagique, son régime alimentaire est carnivore (invertébrés, œufs de poissons, zooplanctons) ; puis au passage du stade juvénile benthique elle va se nourrir principalement d'algues, de coraux mous et d'éponges, son régime est ainsi omnivore. À l'âge adulte, elle optera pour un régime essentiellement herbivore qui sera définitif (Hebrard, 2019; Parker et al., 2011).

La tortue imbriquée, *Eretmochelys imbricata* (Ei) (Annexe 4) :

Elle est plus petite que la tortue verte, présente une carapace de couleur brun orangée composée de quatre écailles costales (comme *Chelonia mydas*) mais celles-ci sont superposées (d'où l'appellation « imbriquée ») et forment des pointes à l'arrière de la carapace des jeunes individus. D'autres caractères au niveau de sa tête permettent de la différencier de la tortue verte : , un bec crochu, qui lui vaut le nom de « tortue à bec de faucon » et ses quatre écailles préfrontale formant une croix blanche entre ses yeux (Fretey, 2015) (Annexe 3). Son régime alimentaire est quant à lui essentiellement composé d'éponges, de petits crustacés et de coraux, elle est donc omnivore. Contrairement à *Chelonia mydas*, son alimentation n'évolue pas tout au long de son cycle de vie.

2.2. Contexte géographique

Le site d'observation, la vasière des badamiers (VdB), est basé sur l'île de Petite Terre entre le rocher de Dzaoudzi et le village de Labattoir (Figure 1). Elle est composée d'écosystèmes à forte productivité biologique comme des herbiers à magnoliophytes marine, algues et des mangroves. Cette richesse

écologique entraîne une fréquentation du site par de nombreuses espèces, dont les juvéniles de nos deux espèces étudiées, les tortues vertes et les tortues imbriquées (Le Gac, 2009).

Cette lagune littorale de faible profondeur qui couvre environ 115 ha est alimentée tant par des flux hydrologiques d'eau douce par les bassins versants qu'en eau salée venant du lagon. La vasière étant séparée par une bande rocheuse (aussi appelée « Beach rock »), les échanges d'eau entre le lagon et la lagune se font par trois principaux exutoires qui permettent l'entrée d'eau dans la vasière à la montée de la marée et le déversement dans le lagon en marée descendante (MTES & Ramsar, 2018).

Ce phénomène couplé à la géographie du lieu présente des contraintes en ce qui concerne l'accessibilité au milieu. En effet, les sorties pouvant être uniquement réalisées en nage avec PMT (Palmes-masque-tuba), la possibilité des sorties va dépendre de la marée, du coefficient de marée et donc des étales. En effet, ces dernières sont relativement courtes, entre 10 et 15min pour une hauteur d'eau comprise entre 2,9 et 3,4m, ce qui entraîne une durée de sortie et donc d'observation plus réduite. Cependant au-delà de 3,4m, l'eau passant par-dessus la barrière littorale, les courants dans le chenal sont annihilés et les étales peuvent durer prêt de 1h. Cependant ces conditions ont généralement lieux en fin de journée et la visibilité est donc réduite, l'heure de terrain est donc à prendre en compte également, notamment pour des raisons de sécurité. Les sorties sont donc prévues entre 7h et 16h30 en raison d'un coucher du soleil à 17h30.

Le protocole est ainsi adapté en fonction des conditions environnementales :

- « Sortie vasière (VdB) » : à l'intérieur du chenal en avançant dans la vasière, sortie possible lorsque la hauteur d'eau est supérieure à 2,9m. (Figure 2).
- « Sortie Beach Rock » : le long de la barrière rocheuse séparant lagon et lagune et au début du chenal, sortie prévue et possible pour des hauteurs d'eau comprises entre 2,5 et 2,9m. (Figure 2).



Figure 2 : Exemple des sorties terrain effectuées

Afin de programmer les sorties sur le terrain, il faut contrôler les prévisions des marées en ligne, ici le site que nous utilisons est www.meteoconsult.fr. Il faut également contrôler la météo globale qui peut entraîner une turbidité trop importante et empêcher les observations.

2.3. Collecte des données

Après étude des conditions météorologiques et environnementales, la récolte des données sur le terrain peut alors commencer. La récupération se fait en sorties plongée PMT. Le plongeur va donc traverser la zone d'étude muni de différents matériels notamment pour capturer des images de ses observations (Tableau 1).

Matériel	Fonction	Avantages	Inconvénients
Ensemble PMT	Matériel de plongée pour observer depuis la surface avec possibilité de plonger en profondeur	Se déplacer plus vite, réduire l'effort, être plus discret qu'en plongée bouteille, et sécurise car la zone comporte des potentiels courants.	Ne permet pas une nage en profondeur constante.
Appareil photo avec zoom et boîtier étanche (dans notre cas un Canon G7x Mark II)	Prendre des photos et des vidéos des individus observés, pour les identifier et étudier leur comportement.	Qualité photo et vidéo optimale, possibilité de zoom et possibilité de mise au point contrairement à la GoPro.	Couteux
GoPro (caméra étanche de petite taille) avec une perche	Même fonction que l'appareil photo.	Maniable, qualité photo et vidéo correcte et moins couteux l'appareil photo.	Absence de zoom donc obligation de s'approcher.
Traceur GPS	Géolocalise la position et les déplacements du plongeur.	Permet de retranscrire les déplacements sur un logiciel et de déterminer précisément les lieux et temps d'observations donc l'effort de prospection.	
Bouée	Utilisée pour fixer le traceur et pour assurer une sécurité en étant vu depuis la surface. Bouée fixée au dos du plongeur pour éviter une erreur de la localisation GPS	Permet d'être sécurisé (port du matériel non utilisé, eau, support de nage).	Prise au courant plus importante et plus encombrant.

Tableau 1 : Matériel nécessaire aux sorties terrain et leurs fonctions

Équipé de ce matériel, le plongeur parcourt la vasière selon des transects perpendiculaires au flux d'écoulement (sortie VdB ou Beach Rock) et peut ainsi faire une capture photo ou vidéo lors d'une rencontre avec un individu. Généralement, la prise de vue est faite sous forme de vidéo afin d'obtenir une vue générale de la tortue et au moins un des deux profils (dans l'idéal les deux surtout pour les nouveaux individus). La vidéo permet d'effectuer une capture d'écran optimale des profils utilisés pour l'identification mais également pour étudier le comportement.

Différentes prises de vue sont ainsi effectuées :

- Les prises de vue ayant pour but une étude comportementale : cette capture vidéo durera au minimum 3min et se fera à une distance comprise entre 3 et 6m lors de sorties VdB selon la

visibilité. L'identification de l'individu doit se faire après les 3 minutes d'enregistrement, de manière à ne pas perturber son comportement. La prise de profil peut toutefois être réalisée pendant l'enregistrement, lorsque le plongeur utilise un zoom tout en restant à distance correcte pour ne pas perturber le comportement de l'individu.

- Les prises de vue pour identification : l'objectif du plongeur sera d'effectuer une prise de vue optimale des deux profils pour une future identification via le module d'identification de la base de données TORSOOI.

2.4. Bancarisation des données

Classification des données brutes

Après chaque sortie terrain, réalisées par l'équipe de l'association présente sur place, les vidéos sont récoltées pour être analysées et réaliser le suivi. Les fichiers vidéos, ainsi que les traces GPS et le fichier notes de terrain sont transmis par email.

Le nombre de données étant relativement important, nous les stockons de manière ordonnée et identiques afin que les futures personnes en charge du suivi puissent retrouver facilement les données. Le fichier est organiser comme ci-dessous :

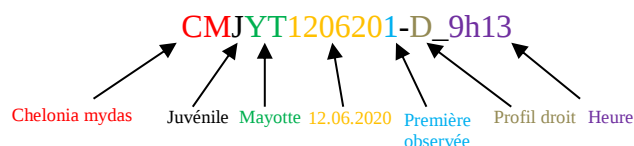
Données → Terrain → A bancariser / Bancarisé → date (Année_Mois_Jour)

Une fois téléchargées et classées, les vidéos peuvent être analysées. Il faut alors commencer par visionner la vidéo dans son ensemble afin de déterminer à quel moment le ou les profils sont les plus exploitables, c'est-à-dire complets et nets, la capture d'écran est alors réalisée.

Toujours dans un souci d'organisation, il faut renommer la photo selon une nomenclature précise :

EspèceSexeLocalisationDateNumphoto-Profil_Heure

Exemple :



Identification des individus

Après avoir sélectionné les profils des individus observés, nous pouvons réaliser l'identification qui s'effectuera en ligne, à l'aide du module de photo identification de TORSOOI, une base de données visant à effectuer un suivi des tortues marines. Elle a été mise en place et développée par KELONIA et l'IFREMER dans le but d'harmoniser et standardiser la collecte de données et la mise en place de collaborations. Créée en 2007, TORSOOI est à ce moment-là utilisé en majorité à la Réunion par KELONIA et par certains territoires de l'Océan Indien. À ce jour ce n'est pas moins de 11 pays et 64 territoires ou régions qui ont collectés plus de 180 000 données, chiffres montrant qu'en quelques années TORSOOI s'est généralisé permettant un suivi complet et répétable à travers le monde.

Avant de déterminer le profil il faut cependant renseigner différents éléments comme le lieu (ici Mayotte), le projet d'étude, les éventuelles caractéristiques de la tortue (cicatrice, malformations,...) ainsi que les coordonnées géographiques (latitude et longitude) récupérées en regardant l'heure de la prise de vue et la trace GPS sous QGIS. Tout cela est nécessaire pour différencier les observations et que chaque identification soit unique.

TORSOOI permet ainsi d'identifier les individus à partir de l'écaillure de leurs profils à l'image des empreintes digitales (Figure 3). La reconnaissance de l'individu parmi ceux renseignés dans la base de données est semi-automatique. Dans un premier temps, il faut pointer chaque sommet correspondant aux intersections d'écailles (Figure 3) en commençant par l'écaille post-orbitale la plus basse puis

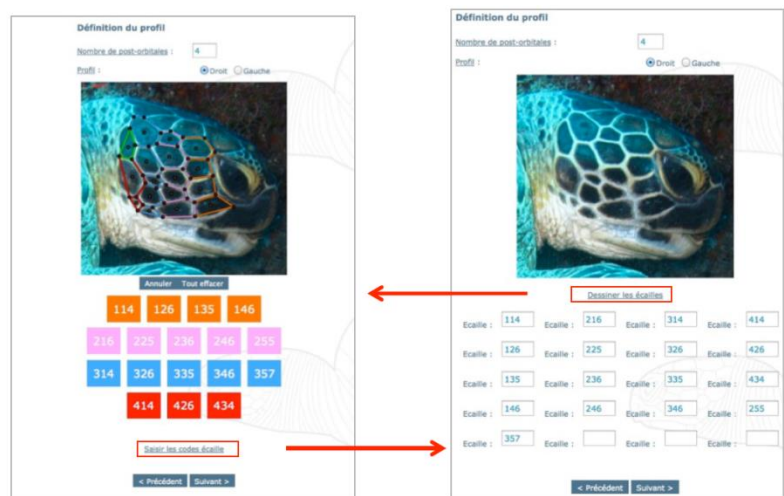


Figure 3 : Identification sous TORSOOI

en remontant et en s'éloignant colonne après colonne. Ainsi, un code unique est créé en fonction du nombre d'écaille et de leurs intersections entre elles.

Dans un second temps, l'algorithme TORSOOI effectue des comparaisons avec les codes d'individus déjà identifiés. L'opérateur valide la correspondance en fonction du pourcentage de similitude, et effectue une vérification visuelle de l'écaillure. Si le profil renseigné ne correspond à aucuns de ceux bancarisés, il est classé comme nouveau profile. Selon la même démarche, le deuxième profil correspondant peut être associé. Un nouvel individu est créé et nommé, seulement si ses deux profils sont renseignés, et liés entre eux (TORSOOI et al., 2014).

Exportation et ajout de différents champs à la banque de donnée

Dans un souci d'utiliser des paramètres propres à l'étude des populations de la VdB, la base de données TORSOOI est exportée sous format Excel, puis complétée par des champs complémentaires, à savoir :

- **Num_tortue** : Numéro de l'individu (**CM** pour Chelonia Mydas, **EI** pour Erethmochelis imbricata)
- **Heure_HM** : heure de la marée haute (référentiel météoconsult)
- **Hauteur_HM** : hauteur de la marée haute (référentiel météoconsult)
- **Coefficient** : coefficient de marée
- **Heure terrain** : heure de mise à l'eau
- **Tps prospection (min)** : durée de la sortie
- **Turbidité** : Indice de turbidité, échelle de 1 à 5 (1 : visibilité >10m ; 2 : visibilité de 7-9m ; 3 : visibilité de 5-7m, 4 : visibilité de 3-5m ; 5 : visibilité <3m) (Vadier & Paute, 2020)
- **Activité** : Activité de la tortue
- **Nom trace GPS** : nom fichier trace GPS de la sortie terrain
- **Heure capture**
- **Fuite** : OUI/NON
- **Matériel utilisé/technique** : Appareil photo + zoom / GoPro + perche
- **Observations**
- **Association** : Si observée associée à une autre tortue, laquelle (Nom/Espèce/Num_tortue)

En ce qui concerne l'étude comportementale, les données sont classées dans un autre fichier Excel créé à partir de l'éthogramme suivant mis en place lors d'une précédente étude (Lange, 2016) :

Comportement	Description
En alimentation	Saisit quelque chose par la bouche. Comprend les déplacements entre sources alimentaires lorsqu'ils durent moins de 20 secondes
En respiration	Se déplace en surface pour respirer de l'air. Comprend les déplacements entre les différentes respirations, s'ils durent moins de 20 secondes.
En déplacement	Plus de 20 secondes passées à se mouvoir, sans prise alimentaire, ni respiration.
En repos	Reste immobile au fond de l'eau, sans se déplacer, parfois bloquée sous un corail ou une éponge, ou bien recouverte de sable
En interaction sociale	Lorsqu'un individu se déplace en direction d'un autre. Les deux individus sont alors considérés en interaction sociale.

Tableau 2 : Éthogramme (Lange, 2016)

Sur ce nouveau document les champs renseignés sont donc :

- **Num_tortue**
- **Nom_tortue**
- **Espec**
- **Date_terrain**

- **Alimentation (min)**
- **Respiration (min)**
- **Repos (min)**
- **Déplacement (min)**
- **Interactions sociales (min)**

2.5. Exploitation des données

Cartographie

Les données GPS associées aux heures de prises de vue des vidéos permettent de déterminer le lieu exact où ont été observés l'ensemble des individus. Ainsi différentes projection (cartes de chaleur) sont réalisées à l'aide de l'outil de cartographie permettant de pointer la répartition de chaque individus. Les analyses peuvent être focalisées sur l'ensemble des individus, mais aussi au niveau individuel, afin de mettre en évidence la répartition générale des populations et le cas échéant les spécificités géographiques propres à chaque individu.

Estimation de la taille des populations

La méthode de photo-identification est essentielle au suivi et à l'étude des populations. En effet, ce procédé de capture-marquage-recapture (CMR), (même s'il ne s'agit que d'une capture indirecte) nous permet d'identifier chaque individu et ainsi que le suivi soit le plus constant au fil des sessions de terrain. En effet plus le nombre de sorti sera grand plus la quantité de données sera importante et l'histoire de capture de l'individu sera facile à reconstituer.

Dans le cadre de la vasière des Badamiers, le modèle de CMR utilisé est celui de Cormack-Jolly-Seber (CJS). Ce modèle nécessite tout de même certains critères à respecter (Otis et al., 1978; Pollock et al., 1990) :

1. La population est fermée démographiquement et géographiquement. Il n'y a donc pas de perte (mortalité, émigration) ni de gain (naissance ou immigration) ;
2. Tous les individus ont la même probabilité d'être capturés à chaque occasion de capture ;
3. Les marques ne sont pas perdues, ni recherchées en priorité par l'observateur ;
4. Tous les individus marqués sont correctement vus et enregistrés à chaque occasion.

Les juvéniles étant relativement sédentaires et l'étude de courte durée, le taux d'entrée et de sortie dans le milieu est très faible. Les populations de la vasière peuvent être considérées comme fermées. On estimera donc les effectifs des populations suivant la classe d'âge juvénile.

Avec les différentes données obtenues nous allons pouvoir estimer la taille de la population et comparer la présence des deux espèces et de ce fait regarder l'évolution de la population en comparant aux différentes études.

Impact du protocole d'étude

Le protocole d'étude implique l'intervention de l'Homme, bien qu'en apparence en moindre mesure comparé à des protocoles de CMR classiques. De ce fait, il y a possiblement un impact sur l'attitude et la tranquillité des tortues.

Nous allons donc nous servir de données relevées comme notamment le taux de fuites des individus afin de contrôler si le protocole a un impact sur ces reptiles, si celui-ci n'est pas trop invasif en regardant le pourcentage de fuite lors des observations et essayer par la même occasion de déterminer un lien avec toutes ces fuites.

3. Résultats

Effort de prospection et accessibilité de la vasière

L'effort de prospection observé depuis le début de l'année 2020 oscille, allant de 21min à 94min pour une moyenne de 51min et 36 secondes. Nous pouvons également observer une observation maximale de 17 individus pour un temps de prospection de 60min. Cependant nous constatons qu'aucune corrélation n'est mise en évidence entre le temps de prospection et le nombre d'individus observés, le coefficient de corrélation étant seulement de 0,0654 (Figure 4).

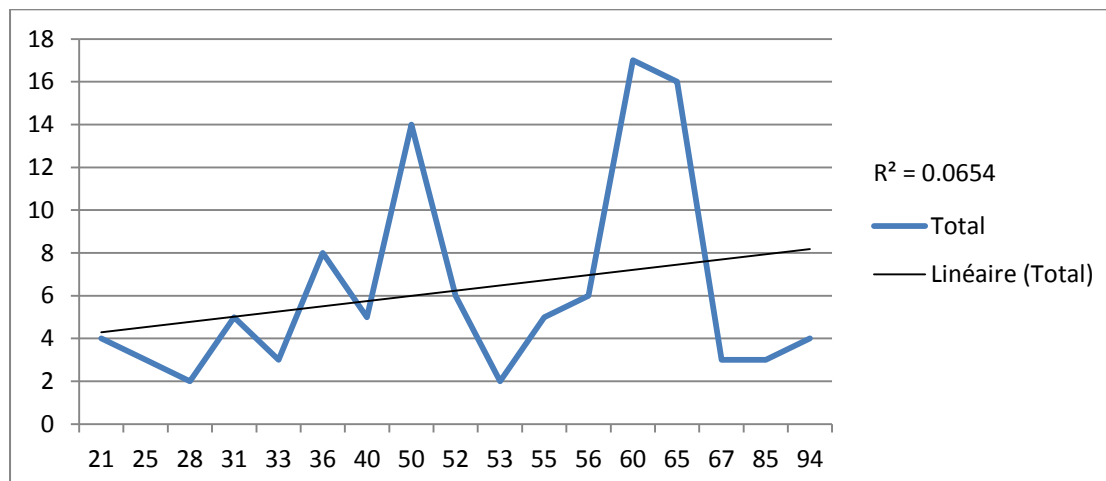


Figure 4 : Nombre d'individus observés en fonction du temps de prospection depuis le mois de janvier 2020

Par définition, la vasière contient des sédiments vaseux, remis en suspension par les courants de marée ou les épisodes de vents forts. La visibilité peut y être très mauvaise et ainsi limiter les observations lors des sorties. Il faut savoir également que de nombreuses sorties sont parfois annulées en raison d'une trop grande turbidité souvent causée par de fortes pluies.

La turbidité rythme donc les sorties terrain et l'effort de prospection. Lorsqu'elle est faible (indice de turbidité faible) la visibilité est bonne et au contraire lorsque la turbidité de l'eau est forte, la visibilité est mauvaise. Ceci entraîne donc une plus ou moins bonne facilité à observer les individus et à les approcher.

Le taux de turbidité n'a pas de corrélation directe avec le nombre d'observation, le coefficient de corrélation R^2 est de 0,2864 (Figure 5) ce qui n'est pas suffisant pour affirmer une telle chose. Cependant lorsque l'indice est trop élevé et donc que la visibilité est mauvaise il n'y a que très peu d'observations, le plus faible nombre d'observation correspond à un indice de 5 soit une visibilité inférieure à 3 mètres.

L'indice de turbidité optimal pour avoir le maximum d'observation correspond à une visibilité de 5 à 7 mètres (indice de 3).

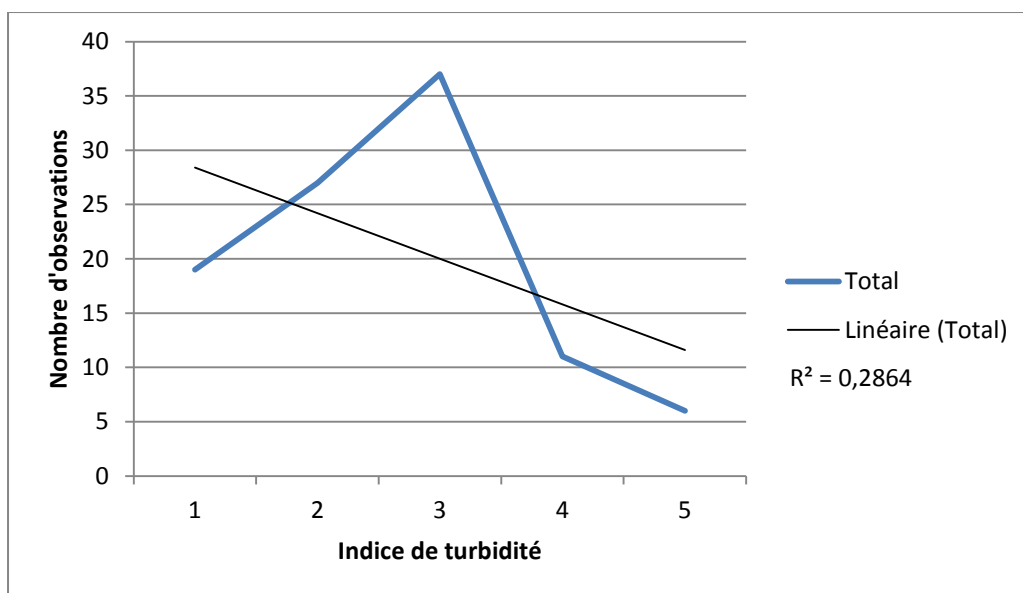


Figure 5 : Nombre d'observations en fonction de l'indice de turbidité

Pour chaque sortie, il faut également anticiper les horaires de marées. Les membres de l'association réalisant les relevés de données se sont rendu compte qu'il y avait un certain écart entre l'étale théorique indiquée dans les annuaires de marée et l'étale effective, c'est-à-dire l'étale mesurée à l'interface lagon/vasière. L'effet de vase communicant entre ces deux réservoirs, couplé à la variation des hauteurs d'eau, fonction des coefficients de marée, conditionne les flux entrant et sortant. En effet, l'étale mesurée sur le terrain (étale effective) peut varier en se situant 37min avant ou 56 min après l'étale théorique. Il y a donc un réel écart entre l'étale attendue et l'étale effective.

Nous avons réalisé un histogramme de ce delta (heure de l'étale théorique – heure de l'étale effective) en fonction de la hauteur de mer afin de vérifier si il y a bien une valeur d'hauteur d'eau à partir de laquelle l'étale théorique et effective sont les mêmes. Nous constatons donc qu'il y a en effet une évolution de cette différence en fonctions de la hauteur d'eau. La valeur du delta est négative pour des hauteurs d'eau allant de 2,75m à 3,1m et devient positive à partir de 3,15m. Le flux change donc radicalement entre 3,1 et 3,15m, la hauteur d'eau à laquelle l'étale effective et l'étale théorique serait les mêmes est donc comprise entre ces valeurs (Figure 6). Cet intervalle pourra être plus précis en augmentant le nombre de données afin d'essayer d'avoir la valeur exacte de ce point. Cette valeur sera donc à préciser et à confirmer sur le terrain.

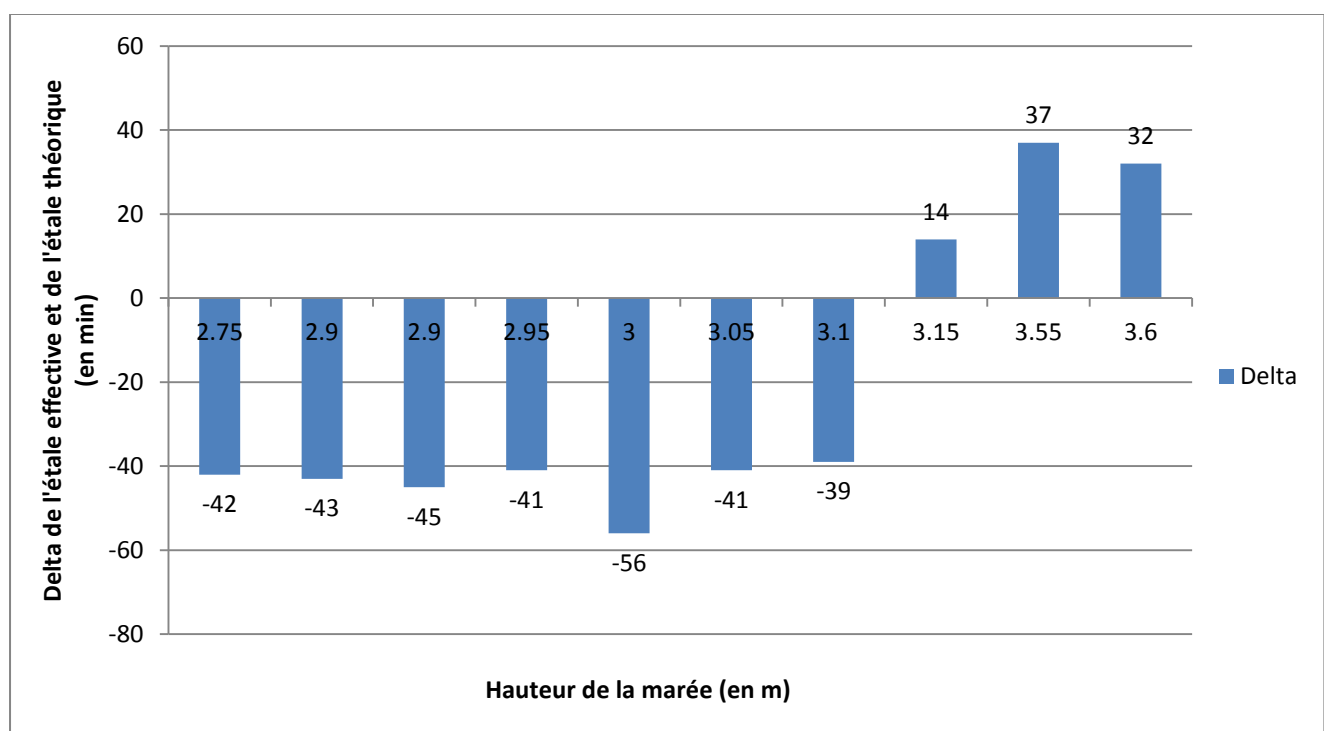


Figure 6 : Histogramme du delta entre l'étale effective et l'étale théorique en fonction de la hauteur de la marée.

Caractérisation des populations de tortues fréquentant la VdB

Espèces et stade de développement

Au sein de la Vasière, seules deux espèces sont observées, les tortues vertes, *Chelonia mydas* (Cm), et les tortues imbriquées, *Erethmochelis imbricata* (Ei) (Figure 7). Parmi ces deux espèces, Cm est bien plus représentée qu'Ei avec 85 tortues vertes contre 17 tortues imbriquées soit respectivement 83,33% et 16,67% soit 5 fois plus de tortues vertes.

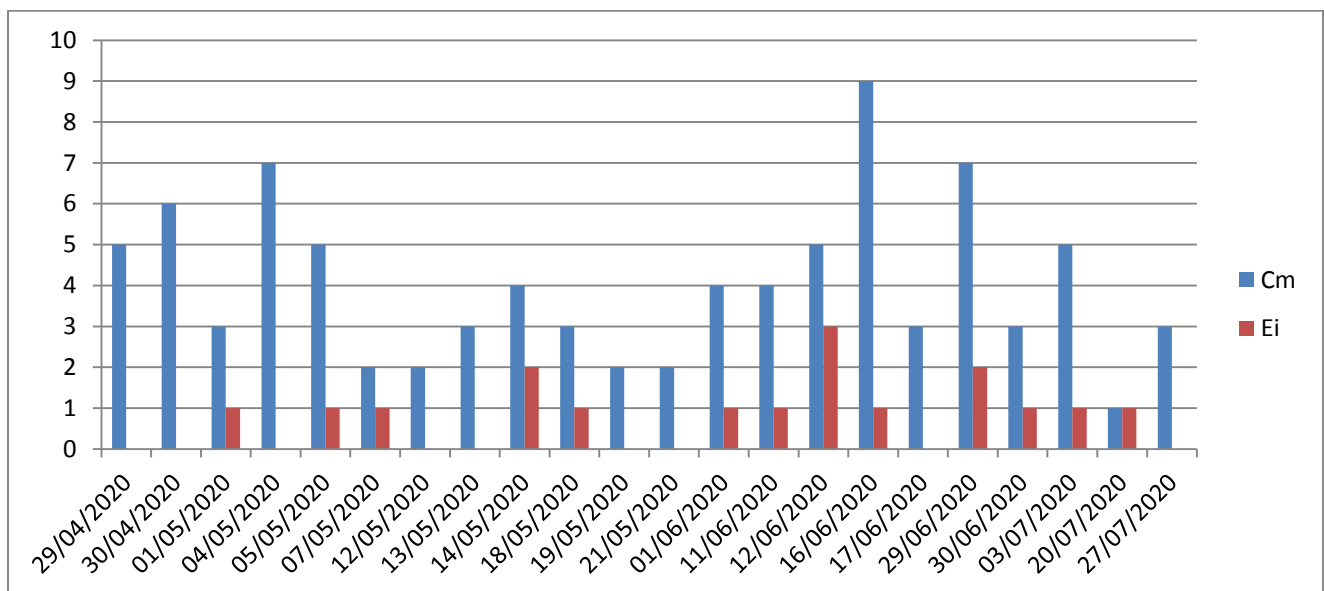


Figure 7 : Histogramme du nombre d'observations en fonction de la date de terrain entre le 27 avril 2020 et le 20 juillet 2020

La courbe d'évolution du nombre d'individus observés sur la durée du suivi semble suivre une sinusoïde, dont la période peut être estimée à deux semaines.

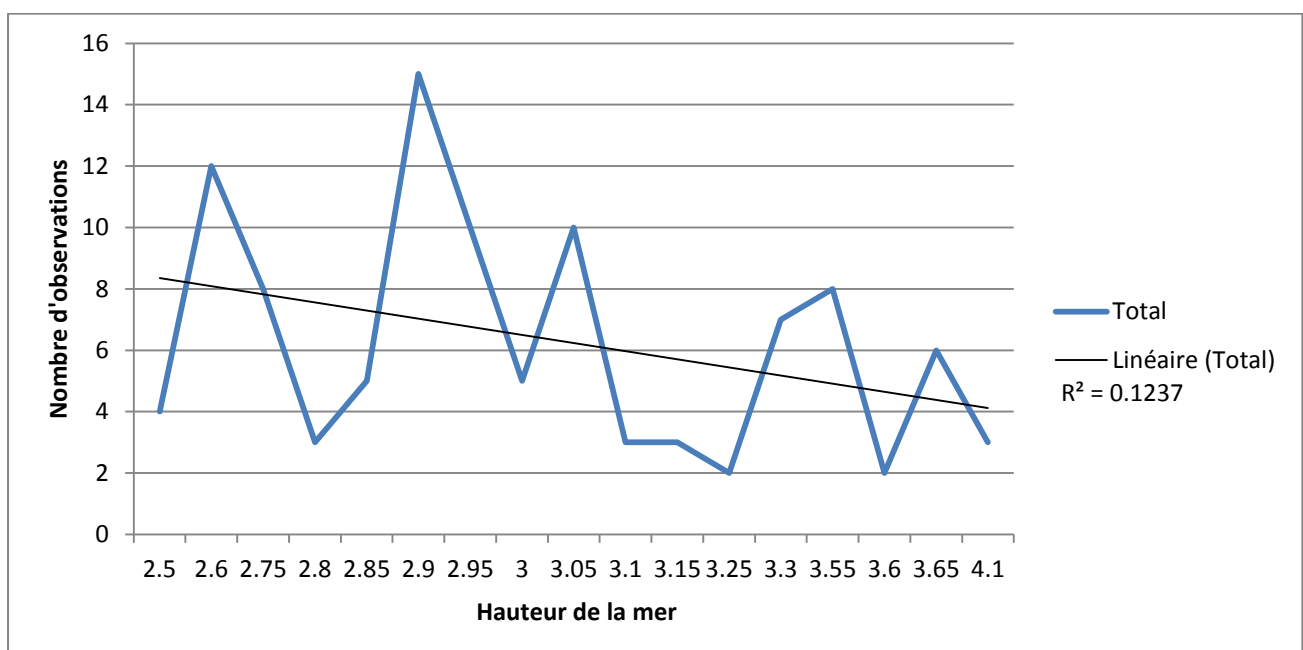


Figure 8 : Courbe du nombre d'observations en fonction de la hauteur de marée

En contrôlant cette hypothèse, avec un coefficient R^2 de 0,1237, nous concluons qu'il n'y a pas de corrélation entre la hauteur de la marée haute et le nombre d'observations. L'observation semble être plus dépendante de la visibilité que de la hauteur d'eau. Le plus grand nombre d'observation a lieu pour une hauteur de 2,9m et le plus faible pour des hauteurs de 3,25m et 3,6m (Figure 8).

Nous observons que les juvéniles recouvrent plus de 98% des observations quand les adultes ne sont qu'à 1,96% (Figure 9). De plus, il faut savoir qu'un seul individu a été identifié comme étant adulte depuis janvier 2020, il s'agit d'une tortue verte se prénommant Tortank. La vasière de Badamiers est donc majoritairement fréquentée par des individus juvéniles.

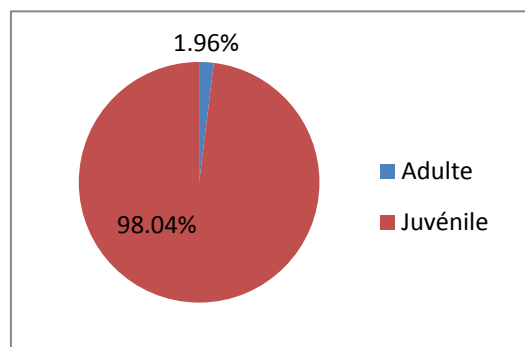


Figure 9 : Pourcentages d'individus juvéniles et adultes présents dans la VdB

Estimation de la taille de la population

Entre le 27 avril et le 20 juillet 2020, 21 sorties terrain ont été effectuées pour une moyenne de 1,75 sorties par semaine. Le suivi a permis de réaliser 106 observations de tortues marines qui ont pu conduire sur 75 identifications soit 70,75%. Parmi elles, 13 individus sont identifiés à partir de l'un des deux profils connus, tandis que 6 profils solitaires sont mis en évidence sans pouvoir caractériser l'individu (la fiche d'identité n'a pu être créée car seulement un des deux profils a été capturé) (Figure 10).

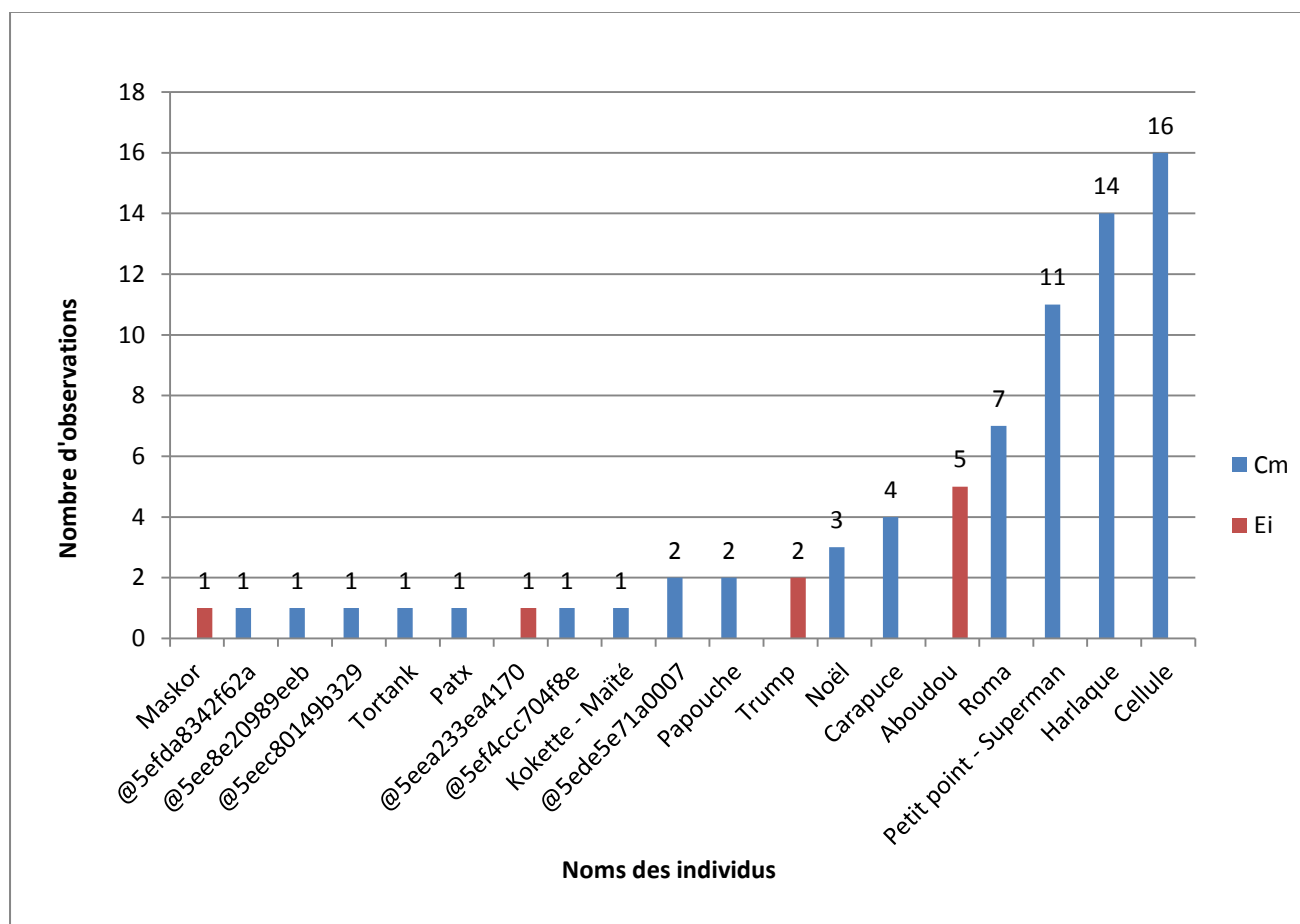


Figure 10 : Nombre d'observation de chaque individu identifié depuis le 27 avril 2020

S'ajoute à cela les individus prenant la fuite ainsi qu'une imbriquée dont nous reparlerons plus tard pour laquelle il nous est impossible d'enregistrer un profil car une trop grande partie de sa tête est recouverte d'algue, empêchant ainsi l'identification (Annexe 5). Nous avons également 2 nouvelles tortues qui sont répertoriées. Ces deux individus se nomment Maskor, il s'agit d'une tortue imbriquée et Patx, une tortue verte. Elles ont été observées respectivement le 12 juin 2020 et le 03 juillet 2020. Les plus anciennes observées étant Kokette-Maïté et Roma, vues pour la première fois le 16 juin 2011 et Tortank, le 17 juin 2011 (Figure 11).

Nous remarquons également sur cette figure que les individus les plus observés sont Cellule (16 observations), Harlaque (14 observations) et Petit point – Superman (11 observations) et il s'agit à chaque fois de Cm. La tortue imbriquée la plus observée est Aboudou avec seulement 5 observations.

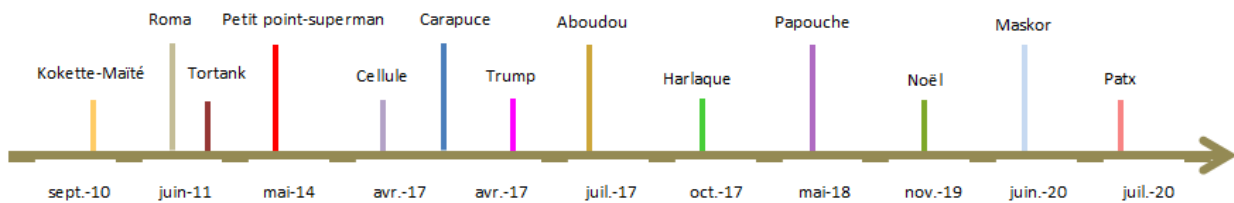


Figure 11 : Frise chronologique des premières apparitions des individus observés entre le 27 avril et le 20 juillet 2020

Les calculs CMR permettent une estimation de la taille de la population. Comme vu précédemment, nous avons choisis dans le cas de la vasière d'utiliser de modèle de Cormack-Jolly-Seber (CJS). La taille de la population sera estimée à partir des données récoltées depuis le 27 avril 2020 jusqu'au 20 juillet 2020. Cependant, pour cette estimation, seuls les individus connus et identifiés seront comptabilisés en raison du risque que deux individus non enregistrés soient en réalité un seul et même individu, auquel cas les résultats seraient biaisés. Pour le calcul, cette période comportant 22 jours de terrain sera divisée en 2 sessions de 11 jours.

$$N = \frac{(n1 + 1)(n2 + 1)}{m}$$

Où N est l'effectif total de la population, n1 le nombre d'individus capturés à la première session, n2 le nombre d'individus capturés à la deuxième session et m le nombre d'individus similaires entre les sessions.

Pour les Cm, nous avons : n1 = 8 ; n2 = 8 et m = 6

Nous obtenons donc :

$$N = \frac{(8 + 1)(8 + 1)}{6} = 13,5$$

L'effectif de population de tortues vertes juvéniles équivaut à N = 13 individus

Pour les Ei, les valeurs sont : $n_1 = 2$; $n_2 = 3$ et $m = 2$

De la même façon nous obtenons :

$$N = \frac{(2 + 1)(3 + 1)}{2} = 6$$

Le modèle de CJS nous amène donc à estimer la population d'imbriquée à 6 individus au cours de cette période.

Mise en évidence de l'aire de répartition des activités recensées

Répartition des individus

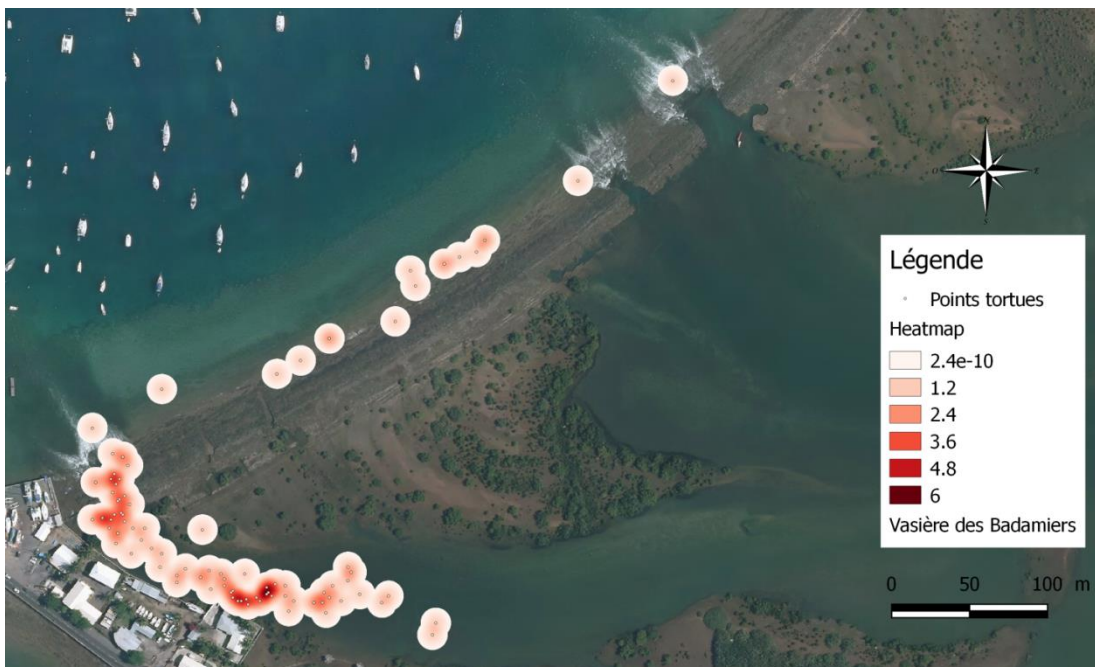


Figure 12 : Heat map de la répartition des tortues observées depuis janvier 2020

La réalisation de carte de chaleur nous permet de voir différentes choses. Pour commencer, lorsque l'on regarde de manière globale l'ensemble des observations nous constatons que la majorité des individus se situent au niveau du premier exutoire ainsi que le long du chenal. Cependant, cela nous permet de découvrir qu'il y a également des individus observés à l'extérieur de la vasière, le long du beach rock (Figure 12), ce qui n'avait été observé en début d'année.

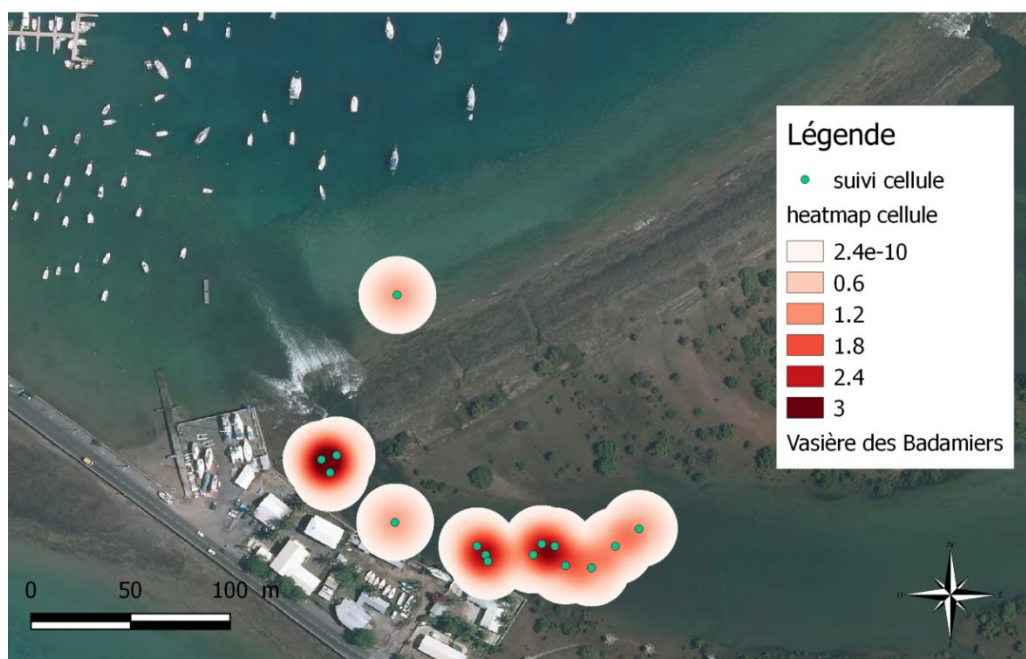


Figure 13 : Heat map de la répartition des observations de Cellule depuis janvier 2020

Pour les observations individuelles nous constatons un autre phénomène. Pour le cas de Cellule, la tortue la plus observée, elle est très présente dans l'avancée du chenal, vers l'intérieur de la vasière et à l'entrée. Elle fait aussi partie des quelques individus à avoir été également vue à l'extérieur de la vasière (Figure 13).

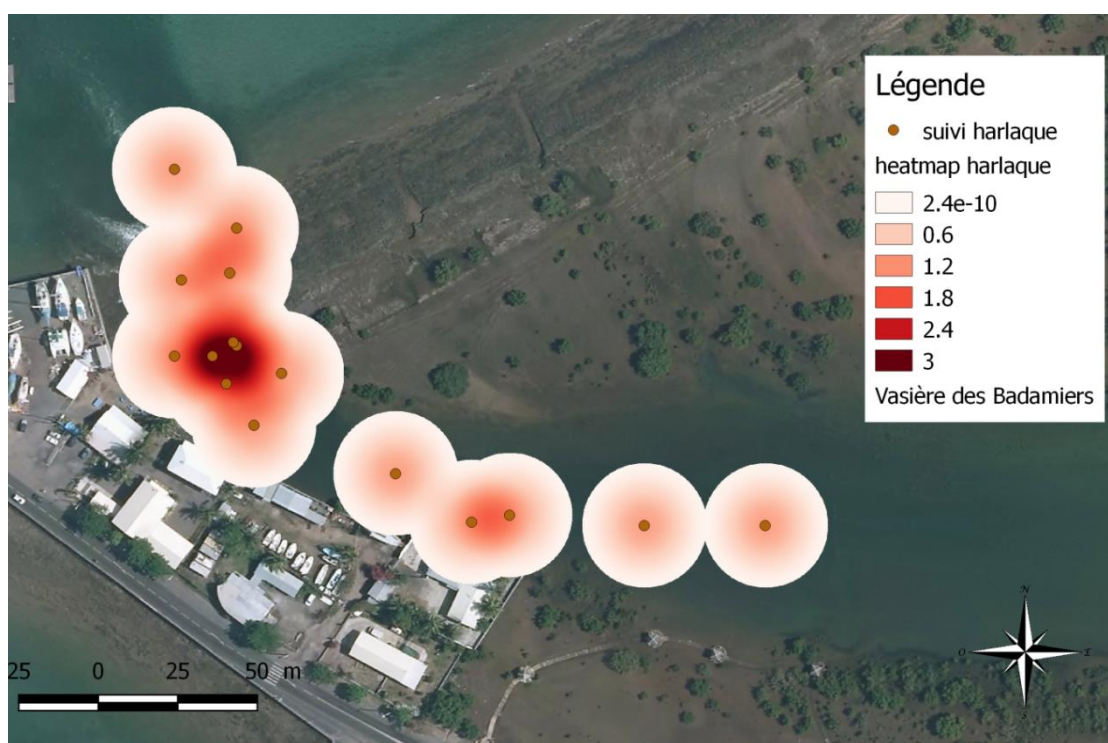


Figure 14 : Heat map de la répartition des observations d'Harlaque depuis janvier 2020

Harlaque, la deuxième tortue verte la plus capturée est quant à elle présente en majorité à l'entrée du chenal, au niveau de l'exutoire. Elle a été vue quelques fois plus à l'intérieur de la VdB et également en dehors de la vasière juste à la sortie de l'exutoire (Figure 14).

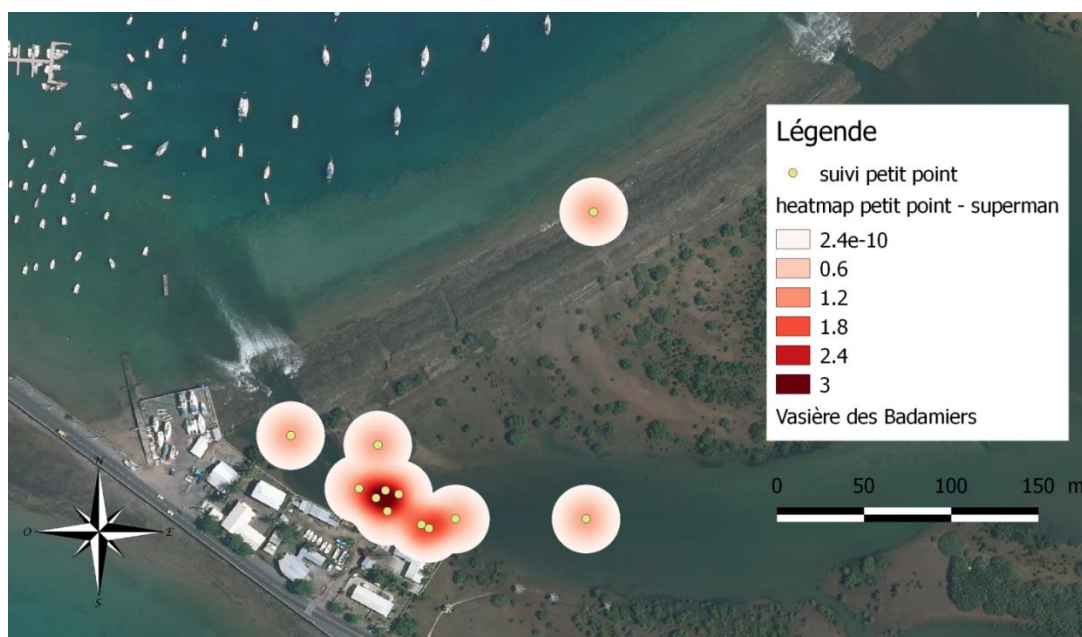


Figure 15 : Heat map de la répartition des observations de Petit point - superman depuis janvier 2020

Enfin, le troisième individu le plus vu, Petit point – superman est capturé en majorité au milieu du chenal bien qu’une observation ait été faite bien à l’intérieur de la vasière et aussi le long du beachbreak, à mi-chemin entre les deux premiers exutoires (Figure 15).

Étude comportementale

Le comportement de 5 individus a pu être étudié à partir de 9 vidéos ; 3 vidéos de Cellule, 2 de Roma, 2 de l’imbriquée non identifiée en raison d’une grande quantité d’algues fixées (notée « Ei inconnue ») sur sa tête et 1 vidéo pour Harlaque et Petit Point - Superman. L’étude comportementale la plus complète est donc celle de Cellule.

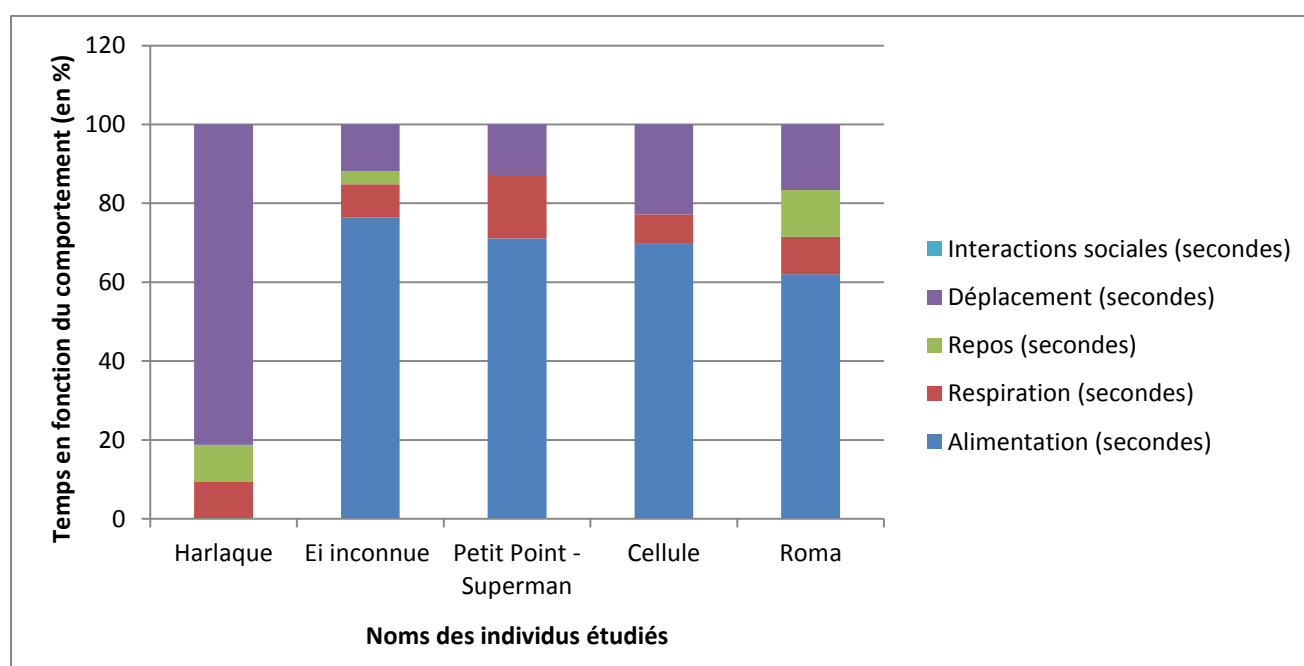


Figure 16 : Histogramme des comportements chez certains individus

En analysant le comportement des individus (Figure 16), quatre des cinq comportements sont mis en évidence. Le comportement d'interaction sociale n'est pas observé lors des relevés terrain, bien qu'il ait déjà été observé dans la vasière. Au contraire, l'alimentation est le comportement le plus observé chez ces individus, à l'exception d'Harlaque qui ne s'est pas nourri au cours du suivi mais pour qui l'activité était principalement de se déplacer, activité réalisée par la totalité des individus tout comme les étapes de respirations. Les phases de repos n'ont pour leur part été observées que chez trois individus.

Étude de l'impact du suivi

Sur la totalité des 105 observations 27 d'entre elles sont liées à des comportements de fuite soit plus de ¼ de fuite (Tableau 3). Ce taux semble varier selon l'espèce puisque pour les tortues imbriquées, seulement 2 actions de fuite ont été relevées sur un total de 17 observations soit 11,76% des imbriquées alors que pour 85 tortues vertes observées, 25 ont pris la fuite soit 29,4% des Cm. Le total de fuite étant de 27 individus et le nombre de sortie terrain de 22, nous dénombrons l'équivalent de plus d'une fuite par sortie en moyenne.

Nombre de fuite	Espèce					
Fuite	Cm		Ei		Total général	
NON	63	60,00%	15	14,29%	78	74,29%
OUI	25	23,81%	2	1,90%	27	25,71%
Total général	88	83,81%	17	16,19%	105	100%

Tableau 3 : Comportement de fuite observé lors de la mise en place du protocole

Ces fuites peuvent être la cause de différents actes du plongeur telles qu'une approche trop brusque et un suivi à faible distance de l'animal ou trop insistant entre autre. Elles peuvent être également liées à des conditions particulières qui peuvent être dues à l'environnement comme la turbidité et le courant. Cependant ces conditions sont souvent liées à la présence d'humain qui vont entraîner un stress chez la tortue se traduisant par la fuite, souvent un reflex lié à la présence d'un potentiel prédateur (Biotope, 2016; Cayol et al., 2008).

De ce fait, nous avons vérifié si la turbidité du milieu avait un lien avec ce taux de fuite (Figure 17). La fréquence des fuites est globalement plus importante lorsque la visibilité est bonne (indice de turbidité égal à 1). Les fuites sont plus fréquentes (0,4) pour un indice de 2 soit une visibilité entre 7 et 9 mètres. En revanche, cette fréquence est plus basse (moins de 0,05) pour un indice de turbidité de 4 ce qui équivaut à une visibilité de 3 à 5 mètres.

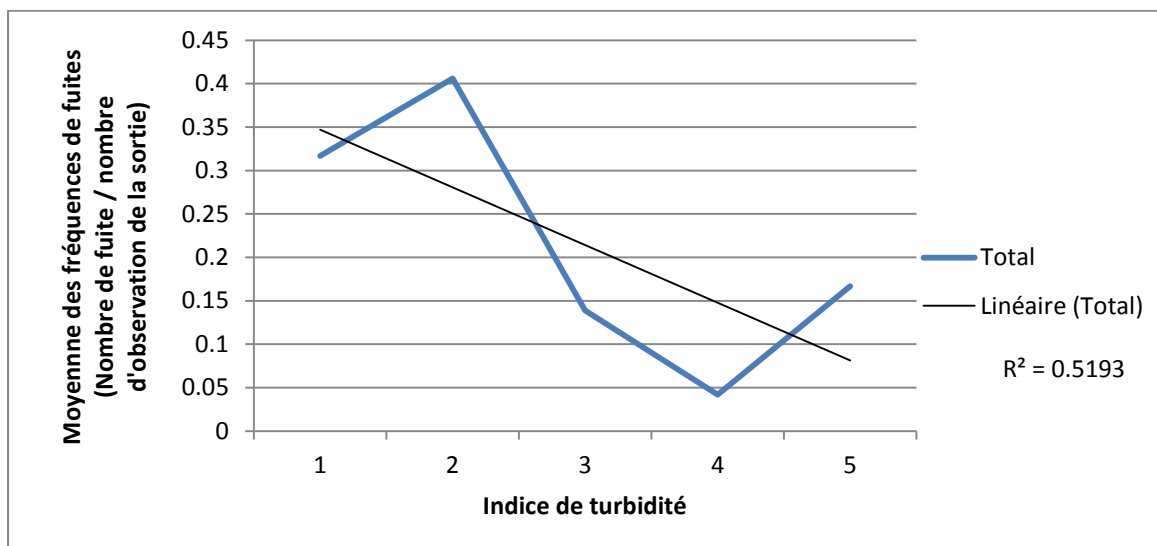


Figure 17 : Moyenne des fréquences de fuite en fonction de l'indice de turbidité

Cependant, il semblerait qu'il n'y ait pas de corrélation entre la turbidité et la fréquence des fuites avec un coefficient de corrélation de 0,5193, bien que l'allure globale de la courbe nous laisse penser que les tortues fuient plus souvent lorsque la visibilité est bonne.

4. Discussion

Fidélité

Les précédentes études faites sur les tortues marines et plus particulièrement sur les tortues vertes et caouanes ont prouvé que celles-ci étaient fidèles à leurs sites d'alimentation (Broderick et al., 2007). L'étude que nous avons effectuée ces derniers mois concorde donc avec ces observations passées. En effet, plusieurs facteurs nous permettent d'affirmer cela.

Pour commencer, l'étude comportementale nous a permis de déterminer l'activité principale des reptiles. Ceux-ci utilisent principalement la Vasière des Badamiers pour leur alimentation. Ce lieu semble donc être une place de choix pour les tortues.

L'étude de la fréquentation de la vasière nous permet également d'affirmer cela ; en effet, grâce à ces analyses nous avons pu voir que la quasi-totalité des individus avaient déjà été observés auparavant (à l'exception de Maskor, Patx et les individus non identifiés). La plus ancienne, Kokette - Maïté a d'ailleurs été aperçue pour la première fois il y a près de 10 ans. Cela montre une certaine fidélité et un intérêt porté par ces tortues sur la vasière car si elles sont toujours présente c'est parce que le milieu est encore riche en nourriture, si ce n'était pas le cas, les tortues devraient chercher un autre lieu propice à leur développement (Broderick et al., 2007).

Car il est vrai que la vasière est essentielle à leur développement puisqu'elles sont presque toute (excepté un individu) juvéniles et donc en période de croissance. Cela confirme également une fréquentation majoritaire et presque totale de la zone par les juvéniles. Ces zones dont fait partie la VdB sont des aires de croissance, les tortues y restent plusieurs années pour se nourrir et se développer jusqu'à la maturité sexuelle, avant d'entamer leur première migration pour la reproduction (Broderick et al., 2007; Musick & Limpus, 2017).

La fidélité à ce site d'alimentation peut être dû à la qualité des aliments présents dans la vasière, à savoir diverse espèces florales comme des herbiers à magnoliophytes marine, des algueraies et des mangroves (Le Gac, 2009). Il faut savoir que nous devons compléter cette étude de 2009 et contrôler la composition de l'habitat. Malheureusement le stage n'ayant pu se faire qu'à distance, ce projet n'a pas pu aboutir.

La poursuite de cette étude de la fidélité accompagnée du suivi de l'habitat permettra à l'association de confirmer la fidélité des tortues et notamment des nouveaux individus. Il sera aussi intéressant d'estimer si la quantité et la qualité des ressources alimentaires ne sont pas en déclin.

Occupation géographique

Nous pouvons affirmer que l'exutoire 1 est le plus occupé par les tortues. Cependant, les membres de l'association présents sur le terrain ont pu relever des profils à l'extérieur de la vasière, au bord du beach rock. Ces profils sont pour la majorité nouveaux et n'ont ainsi pas aboutis à la création d'une fiche identitaire ou des individus non identifiés en raison de la qualité des images liées à la turbidité ou à cause de fuites. Seuls Cellule, Harlaque, Petit Point-Superman et Trump ont été observés au niveau du beach rock, Trump ayant été observé le plus loin soit au niveau du dernier exutoire.

Il y a donc que peu d'observations au niveau du beach rock mais il faut savoir qu'avant ces sorties, les seules aperçues hors de la vasière étaient inconnues. Cependant, avec les dernières données sur ces 4 individus nous avons la preuve que les tortues sortent de la vasière, reste à comprendre pourquoi.

À l'échelle individuelle, nous pouvons voir que les individus semblent être plus ou moins fidèles à un endroit et en fonction de l'individu être plutôt à l'entrée de l'exutoire comme Harlaque ou plutôt dans le chenal pour Petit Point – Superman et Cellule.

De précédentes études ont été menées dans le monde posant deux hypothèses pouvant expliquer la raison pour laquelle les tortues sont localisées au niveau de l'entrée principale de la vasière. La première étude montre que les tortues auraient tendance à défendre leur territoire contre l'entrée de prédateurs (Broderick et al., 2007). Cette hypothèse semble possible et rationnelle à la vue de nos résultats. L'autre

étude datant de 2010 traite de l'alimentation, ainsi, les tortues seraient principalement à cet endroit car la qualité et la quantité de nourriture y serait meilleure qu'ailleurs dans la VdB (Bresette et al., 2010). L'étude approfondie de l'habitat ainsi que de son herbier serait désirable afin de confirmer ces hypothèses.

Cependant, l'étude et le suivi dans la vasière ne peut être complet en raison des marées et de la faible accessibilité du milieu de la vasière, le suivi ne nous garantit donc pas que les individus ne sont pas présents de façon abondante au milieu de la vasière.

Estimation de la population

Le calcul de l'estimation de la population par capture – marquage – recapture nous a permis de conclure que la taille de la population d'imbriquée est de 6 individus et celles de tortues vertes deux fois plus soit 13 individus.

Cependant, ces chiffres sont à relativiser pour plusieurs raisons. Tout d'abord, tous les estimateurs de taille de populations sont d'autant plus fiables et proches de la réalité que les données récoltées sont en quantité importante. Hors, nos données peuvent paraître nombreuses mais il s'agit de données récoltées durant seulement 3 mois avec par contre un effort de prospection conséquent. Il faudra ajouter ces données et comparer les résultats avec les études qui vont suivre afin d'augmenter la effort d'échantillonnage et donc la précision des résultats.

De plus, souvenons-nous des critères d'utilisation du modèle CMR. Parmi eux, deux ne sont que partiellement respectés ici :

- La population est fermée démographiquement et géographiquement. Il n'y a donc pas de perte (mortalité, émigration) ni de gain (naissance ou immigration) ;
- Tous les individus ont la même probabilité d'être capturés à chaque occasion de capture ;

En effet, pour le premier, nous avons pu observer sur les cartes de chaleur que les individus sont observés dans le chenal donc à l'intérieur de la vasière mais également à l'extérieur pour certains. Les premières observations montraient une fréquentation extérieure (le long du beach rock) par des individus non rencontrés à l'intérieur de la vasière puis certains ont été remarqués à l'intérieur comme à l'extérieur mais en moindre mesure qu'à l'intérieur. Ainsi, le lieu d'étude a été considéré comme fermé de par la courte durée de l'étude. Cependant de légers déplacements d'individus ont été constatés entre l'intérieur

et l'extérieur de la vasière. Il reste donc à contrôler à quelle échelle ont lieu ces déplacements (seulement en périphérie de la vasière ou dans tout le lagon) et dans quelle quantité, est-ce une minorité ou une majorité des individus qui s'aventurent en dehors de la VdB.

En ce qui concerne le second critère, les tortues peuvent être amenées à fuir pour diverse raison ; une approche trop brutale, un matériel trop invasif, ou bien simplement un individu plus craintif (ce côté spécifique à un individu est une supposition qui reste difficile à prouver car lors de fuite il est rarement possible d'identifier l'individu au-delà de son espèce, cependant il serait intéressant d'étudier ce trait de caractère). De ce fait, la totalité des individus ne possède pas réellement la même probabilité de capture. En revanche ces légères fluctuations n'ont que peu d'impact sur les calculs qui ne seront pas biaisés d'où le choix de ce modèle.

Nous pourrions par la suite essayer de nouveaux modèles afin de comparer les résultats ou bien utiliser des logiciels tels que « MARK » qui permettrait de contrôler ces biais.

Comportement

L'analyse comportementale est très intéressante car elle confirme une de nos hypothèses sur la raison de la présence des tortues juvéniles dans la vasière. Il est vrai que les observations ont permis de supposer que les individus étaient présents principalement en raison de la quantité et de la qualité de la nourriture présente sur le site. Ici, l'étude nous confirme cela avec un temps d'alimentation compris entre 62 et 76% du temps sur la durée de l'étude.

La seule remarque à faire concerne le suivi d'Harlaque qui ne révèle pas de comportement d'alimentation. Cependant, les plongeurs d'ONN affirment qu'elle a déjà été vue en train de se nourrir. Il semble donc que la période durant laquelle elle a été suivie ne correspondait pas à cette phase-là. Il faudrait donc multiplier les suivi comportementaux ou éventuellement qu'ils soient plus long.

Impact et difficultés du suivi

Le suivi a forcément (aussi léger soit-il) un impact sur les individus. En effet lorsque le plongeur va reconnaître l'individu comme étant inconnu il va essayer d'avoir un accès visuel à ses deux profils et donc de le « poursuivre ». Cependant, lorsque ce genre de manœuvre est entrepris, l'objectif est qu'il soit réalisé le plus vite possible afin de déranger le moins possible l'animal. De plus, le protocole a été adapté afin d'être moins invasif : au départ de ce suivi en 2010 et jusqu'à peu de temps avant ce stage, les capture d'images étaient réalisées à l'aide de GoPro et d'une perche. Ce matériel n'étant pas doté d'un

zoom optique, le plongeur devait se rapprocher au plus près, contrairement à aujourd'hui où les captures sont réalisées à l'aide d'un appareil photo pourvue d'un zoom.

En raison du manque d'éléments, ce constat de baisse de l'impact grâce au matériel n'est pas vérifiable par des données. Mais le ressenti des plongeurs va dans le bon sens.

Mais nous avons aussi supposé que ce taux de fuite était possiblement lié à la turbidité de l'eau et le constat était tel qu'il n'y avait pas de corrélation.

Il faut savoir qu'au début de la période d'étude à savoir du 27 avril au 01 juin, cette étude a été effectuée par Almodis Vadier, étudiante en Master 1 Génie Écologique. Lors de sa période de stage, elle avait montré une corrélation entre ce taux de fuite et l'indice de turbidité (Figure 18) (Vadier & Paute, 2020) cependant, la quantité de données est plus élevée à ce jour avec d'autres valeurs ajoutées. Il faudra donc poursuivre cette étude et confirmer ou infirmer ces dernières observations.

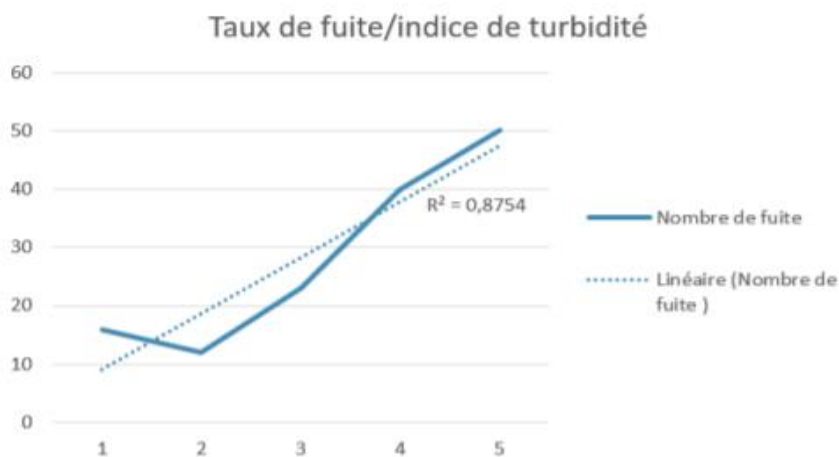


Figure 18 : Taux de fuite en fonction de l'indice de turbidité du 27 avril au 01 juin

Enfin, la turbidité qui fait également parti des difficultés lors des sorties, bien qu'il n'y ait pas eu de corrélation prouvée avec le nombre d'observations, les eaux turbides de la vasière empêchent de nombreuses fois les sorties terrain et gênent les plongeurs par le manque de visibilité, d'autant plus en cette fin de stage qui s'avère être la saison des alizés.

À cela s'ajoutent les difficultés liées aux conditions de marées : selon le coefficient de marée, et donc de la hauteur d'eau, conditionnent l'accessibilité géographique et temporelle au milieu. De plus, un décalage d'étalement a été observé entre l'étalement effective et l'étalement théorique. Ce delta peut s'expliquer par le fait qu'à partir d'une certaine hauteur d'eau, l'eau du lagon passe au-dessus du beach-rock à marée montante, remplissant plus rapidement le réservoir « vasière ». L'heure d'étalement est donc avancée par rapport aux hauteurs d'eau inférieures, se rapprochant ainsi de l'étalement théorique. Cela nous permet de savoir que pour des hauteurs d'eau <3,1m nous pouvons commencer le terrain 30 à 60 min après l'étalement théorique, tandis

que pour des hauteurs d'eau $> 3,1$, nous pouvons commencer le terrain 30 à 45 min avant l'heure d'étalement théorique. Ces résultats permettent donc d'anticiper ce décalage et donc d'optimiser le temps de sorties.

5. Ouverture

Ce projet a permis de confirmer la fidélité des juvéniles de *Chelonia mydas* et d'*Eretmochelys imbricata* au sein de la vasière et plus particulièrement au niveau du premier exutoire et dans le chenal de celui-ci, cependant, des individus aillant été observés au niveau du beach rock, la poursuite de cette étude serait intéressante afin de déterminer réellement les sorties de la vasière.

Nous avons entrepris un projet qui visait à dénombrer et étudier le comportement des tortues à l'aide d'un drone comme cela a déjà été fait dans d'autres endroits (Ballorain et al., 2018; Dunstan et al., 2020). Ce projet avait déjà été réfléchi mais laissé de côté, je devais donc le reprendre avec monsieur Pauter car il permettrait au minimum d'avoir une idée de quel endroit serait le mieux pour plonger et identifier le maximum de tortues et étudier leur comportement. Cette méthode seule étant intéressante mais pas suffisante, elle serait par contre très utile en accompagnement du protocole actuel. Il serait donc très intéressant de reprendre ce projet.

Pour finir, un projet à la fois intéressant et sur le point d'aboutir : la mise en place de balises, assez petites pour ne pas gêner les tortues car il s'agit de juvéniles. Ce projet est une première et permettrait d'en savoir d'avantage sur le comportement et le devenir des tortues vertes et imbriquées juvéniles de la vasière des badamiers que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur de celle-ci. Ce protocole est certes plus invasif que l'actuel mais permet une fois la balise posée de ne plus déranger l'animal et de seulement l'observer à distance étant donné que l'identification est faite et enregistrée sur la balise. Projet qui est donc sur le point d'aboutir en partenariat avec l'IFREMER.

6. Conclusion

Ce projet d'étude a permis de confirmer la fidélisation des tortues juvéniles, qu'elles soient de l'espèce imbriquée ou verte, pour la Vasière des Badamiers. Populations aujourd'hui estimée à 13 tortues vertes et 6 tortues imbriquées. Sachant que le protocole de CMR a permis d'identifier deux nouveaux individus au cours du stage, une tortue verte nommée « Patx » et une imbriquée appelée « Maskor ». La vasière est un milieu riche en herbier et en nourriture est particulièrement adapté à la période de développement et de croissance des juvéniles. L'activité principale de ces individus étant l'alimentation, cette supposition est donc validée.

Le suivi a également été utile pour contrôler les déplacements des reptiles, nous ouvrant ainsi d'autres possibilités et axes de recherche notamment sur le flux entrant et sortant des individus entre le lagon et la vasière mais aussi sur la ségrégation de certains individus. Ces découvertes incitent donc à poursuivre et approfondir le suivi.

Bien que l'étude se soit bien déroulée et nous ait permis de répondre à différents problèmes, le suivi n'est pas toujours simple à réaliser. En effet, la vulnérabilité et l'exposition de ce site aux vents, aux marées et aux pluies (notamment lors de la saison humide) entraîne de nombreux jours d'incapacité à effectuer les sorties terrain. Et lorsque les sorties sont possible, une visibilité pas toujours optimale peut limiter le suivi et donc la récolte de résultats. C'est pourquoi la poursuite de ce projet accompagné de nouvelles techniques de suivi comme le suivi à distance par drone et/ou avec le nouveau projet de balise avec l'IFREMER pourront permettre à l'association de palier à ces contraintes.

L'association et ses membres ont pour objectif d'être de plus en plus actifs dans l'étude et la préservation des tortues marines de Mayotte. C'est pourquoi ils ne cessent de sensibiliser petits et grands et d'exercer avec d'autres association et acteurs locaux pour la surveillance des plages de ponte pour lutter contre le braconnage. Sur le plan scientifique ils continuent à se développer avec de nouveaux projets, le dernier en date étant la construction d'un centre de soin pour les tortues blessées.

8. Références

- Ballorain, K. (2010). *Écologie trophique de la tortue verte Chelonia mydas dans les herbiers marins et algueraies du sud-ouest de l'océan Indien* Katia Ballorain To cite this version : HAL Id : tel-00576264 Thèse de Doctorat Discipline : Biologie Ecologie trophique de la tort.
- Ballorain, K., Duclos, G., Dambreville, R., Jean, C., Corman, D., & Ciccione, S. (2018). *Foraging green turtles mapping by UAV*. 3354.
- Biotope. (2016). *Evaluation du Plan de Restauration des Tortues Marines de Guadeloupe. Version 3*.
- Bresette, M. J., Witherington, B. E., Herren, R. M., Bagley, D. A., Gorham, J. C., Traxler, S. L., Crady, C. K., & Hardy, R. (2010). Size-class partitioning and herding in a foraging group of green turtles *Chelonia mydas*. *Endangered Species Research*, 9(2), 105–116. <https://doi.org/10.3354/esr00245>
- Broderick, A. C., Coyne, M. S., Fuller, W. J., Glen, F., & Godley, B. J. (2007). Fidelity and overwintering of sea turtles. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1617), 1533–1538. <https://doi.org/10.1098/rspb.2007.0211>
- Cayol, C., Maillard, J., & Dubief, L. (2008). Tortues marines de la Martinique. *Cheloniens*, 9, 8–9.
- Dunstan, A., Robertson, K., Fitzpatrick, R., Pickford, J., & Meager, J. (2020). Use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for mark-resight nesting population estimation of adult female green sea turtles at Raine Island. *PLoS ONE*, 15(6), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228524>
- Frappier, J. (2006). *Suivi et tendances à long terme de la population de tortue verte marine (Chelonia mydas) nidifiant à Mayotte (Océan Indien)*.
- Fretey, J. (2015). <http://gtmf.mnhn.fr/comment-les-distinguer/>. <http://gtmf.mnhn.fr/comment-les-distinguer/>
- Hebrard, L. (2019). *Prise en charge des nouveau-nés de tortues marines retrouvés blessés ou déformés lors de l'excavation des nids à la Réunion*.
- Lange, L. (2016). *comportemental d'une population de tortues marines Chelonia mydas en alimentation sur la Réserve Naturelle des îlets de Petite Terre*.
- Le Gac, M. (2009). *Actualisation de l'état initial au vue de la mise en place d'une gestion durable de la Vasière des Badamiers Tortues et environnement*. 1–34.
- Manire, C. A., Norton, T. M., Stacy, B. A., Innis, C. J., Harms, C. A., Stacy, B., Harms, C. A., & Innis, C. J. (2017). *Health & Rehabilitation*.
- MTES, & Ramsar. (2018). *Vasière des Badamiers*.
- Musick, J. A., & Limpus, C. J. (2017). Habitat utilization and migration in juvenile sea turtles. *The Biology of Sea Turtles, Volume I*, 137–163. <https://doi.org/10.1201/9780203737088>
- Otis, D. L., Burnham, K. P., White, G. C., & Anderson, D. R. (1978). Statistical Inference from Capture Data on Closed Animal Populations. *Wildlife Monographs*, 62, 3–135. <http://www.jstor.org/stable/3830650>

Parker, D. M., Dutton, P. H., & Balazs, G. H. (2011). Oceanic Diet and Distribution of Haplotypes for the Green Turtle, *Chelonia mydas*, in the Central North Pacific. *Pacific Science*, 65(4), 419–431. <https://doi.org/10.2984/65.4.419>

Pollock, K. H., Nichols, J. D., Brownie, C., & Hines, J. E. (1990). Statistical Inference for Capture-Recapture Experiments. *Wildlife Monographs*, 107, 3–97. <http://www.jstor.org/stable/3830560>

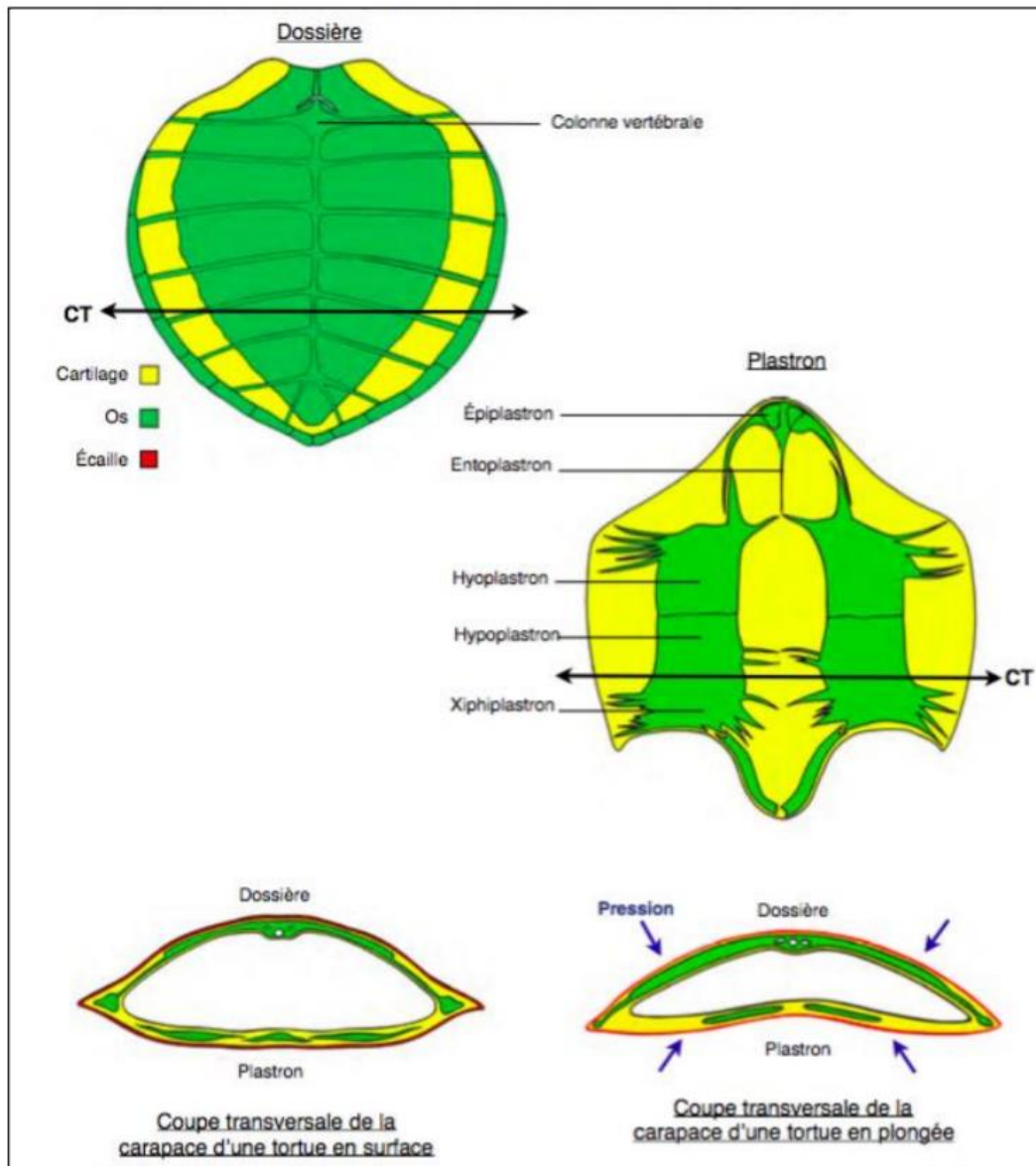
QUILLARD, M. (1994). Les tortues marines à Mayotte: bilan des actions de protection et perspectives. *Bulletin de La Société Herpétologique de France*, 139–40, 113–129. <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=25357258>

TORSOOI, KELONIA, & IFREMER. (2014). *Base de données Tortues Marines du Sud Ouest de l ' Océan Indien – logiciel de photo ID BASE DE DONNÉES ET LOGICIEL DE RECONNAISSANCE PAR PHOTO IDENTIFICATION – GUIDE D ' UTILISATION*.

Vadier, A., & Paute, F.-E. (2020). *Suivi par photo-identification et étude comportementale des tortues vertes (Chelonia mydas) et imbriquées (Erechmodelys imbricata) de la Vasière des Badamiers , Mayotte*.

Wyneken, J. (2001). The Anatomy of Sea Turtles: Introduction. *National Marine Fisheries Service, National Oceanic and Atmospheric Administration, US Department of Commerce, December*, 1–172.

Annexes

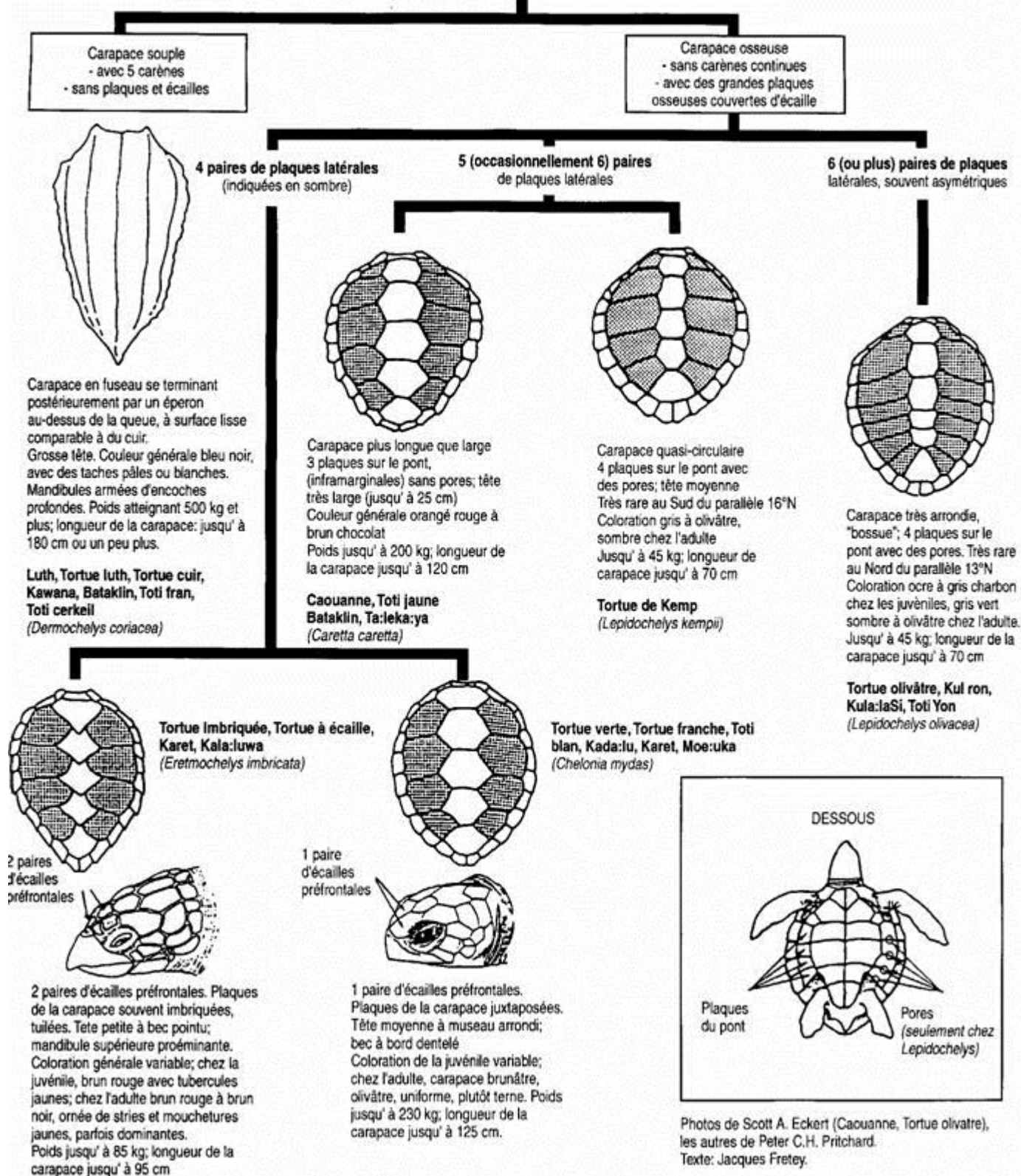


Annexe 1 : Schéma de la dossière et du plastron de la tortue marine



Annexe 2 : Une tortue verte, *Chelonia mydas*. Ici Harlaque

CLÉ DE DÉTERMINATION





Annexe 4 : Une tortue imbriquée, *Eretmochelys imbricata*

La tortue imbriquée non-identifiable

« Ei inconnue »



Allure globale de la tortue : recouverte presque totalement d'algues (sur la carapace sur la tête, sur les nageoires et le cou).

Profil droit



Profil gauche

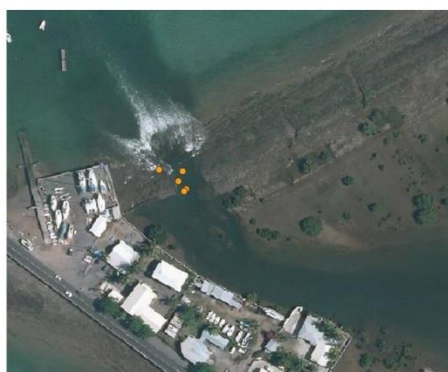


Les écailles présentes sur ses profils sont recouvertes d'algues verdâtres qui laissent deviner que partiellement quelques écailles. L'individu est facilement reconnaissable de par cette grande quantité d'algues qui en fait une de ses caractéristiques. Seulement, il est impossible de l'identifier ; l'identification se faisant à partir des écailles présentes sur les deux profils.

Liste des observations

Date
01/06/2020
11/06/2020
12/06/2020
29/06/2020
30/06/2020

L'individu a été observé à 5 reprises entre le 1^{er} juin et le 27 juillet 2020. Toutes les observations étaient au niveau du premier exutoire.



Résumé

La Vasière des Badamiers, une lagune littorale située à Mayotte a la particularité d'être alimentée en eau salée et en eau douce. Elle constitue un écosystème à part entière avec une importante biodiversité qu'elle soit animale (avec de nombreux poissons, mollusques, tortues, etc...) ou végétale (avec des herbiers, des mangroves, etc...). L'étude réalisée ici consiste en un suivi des tortues marines de ce site grâce à la méthode de photo-identification. Cette méthode consistant à identifier les individus grâce à leurs écailles présentes sur leurs profils et à l'outil TORSOOI a permis l'identification de nombreuses tortues appartenant aux espèces des tortues vertes (*Chelonia mydas*) et des tortues imbriquée (*Eretmochelys imbricata*). Ce protocole permet d'estimer la taille des populations de ces deux espèces portant 13 les individus Cm et à 6 les Ei. Par ce suivi GPS, la localisation des tortues peut être connue et également étudiée ce qui a donné des résultats jamais obtenus auparavant, révélant un flux migratoire entre le lagon et la vasière. Une étude comportementale a été liée à ce suivi pour mettre en avant certaines habitudes chez les tortues et a permis de confirmer nos attentes révélant une activité majeure consacrée à l'alimentation. Cette activité principale explique ainsi la fidélité des juvéniles à ce milieu. En parallèle, le contrôle de l'impact et des limites de l'étude va permettre de l'améliorer et de le poursuivre avec une régularité et un effort plus important pour développer ce projet sur le long terme.

Mots-clés : Tortues vertes, Tortues imbriquées, photo-identification, CMR, Mayotte, comportement.